



# Ekonomiskt optimalt skogsbruk - analys av enskild ägd skog med klustrade Riksskogstaxeringsytor

---

*Economically optimized forestry – analyses for non-industrial private  
forests based on clusters of NFI sample plot data*

Petter Berggren

Examensarbete/Självständigt arbete •30hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för skoglig resurshushållning,

Jägmästarprogrammet, SY001

Arbetsrapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, 506

ISSN 1401-1204

Umeå 2019





# Ekonomiskt optimalt skogsbruk – analys av enskild ägd skog med klustrade Riksskogstaxeringsytor

*Economically optimized forestry – analyses for non-industrial private forests based on clusters of NFI sample plot data*

Petter Berggren

**Handledare:** Wilhelmsson Erik, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning  
**Bitr. handledare:** Wikberg Per-Erik, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning  
**Examinator:** Lind Torgny, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning

**Omfattning:** 30 hp  
**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå, A2E  
**Kurstitel:** Självständigt arbete i Skogsvetenskap  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skoglig resurshushållning  
**Kurskod:** EX0921  
**Program/utbildning:** SY001 Jägmästarprogrammet

**Utgivningsort:** Umeå  
**Utgivningsår:** 2019  
**Omslagsbild:** Petter Berggren  
**Serietitel:** Arbetsrapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning  
**Delnummer i serien:** 506  
**ISSN:** 1401-1204  
**Elektronisk publicering:** <https://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Optimering, nuvärde, Heureka, PlanVis, beslutsstöd, konsekvensanalys, enskilda skogsägare.



## **Förord**

Jag vill för det första rikta ett stort tack till min handledare Erik Wilhelmsson på Institutionen för skoglig resurshushållning, för all tid och energi som lagts ned och det stora tålamod Erik visat under arbetsgången. Jag vill även tacka min biträdande handledare Per-Erik Wikberg som varit mycket behjälplig med inställningar för Heureka RegVis och synpunkter lämnade på arbetet. Utvalda delar av Riksskogstaxeringens provytedata som använts i studien har Per Nilsson hjälpt till att anskaffa vilket möjliggjorde studien och för det är jag väldigt tacksam.

Ett stort tack riktar jag även till min partner Amanda som givit fantastiskt bra stöd och med stort engagemang stöttat mig i arbetet.

## Sammanfattning

Studiens syfte är att undersöka skillnader mellan ett ekonomiskt optimalt skogsbruk och *dagens skogsbruk* för enskilda skogsägare i Sverige. För att undersöka detta har data från Riksskogstaxeringens provytor och skogliga konsekvensanalyser från år 2015 använts. För att göra materialet mer hanterbart och för att minska risken för överoptimering har Riksskogstaxeringens provytedata klustrats till färre behandlingsenheter. Klusterdata skapades för tre län som representerar olika skogliga förutsättningar: Västerbottens, Örebro och Kronobergs län. Studiens resultat visar att det finns betydande skillnad mellan ett ekonomiskt optimerat skogsbruk och en simulering av *dagens skogsbruk*, främst när det gäller ekonomi, avverkningsnivå, virkesförråd, gödslad areal och röjd areal. De största skillnaderna fanns i Västerbotten och minskar med breddgraderna. Vid höjd diskonteringsränta minskar optimeringens effekter mot *dagens skogsbruk*. Vidare visar resultatet att det framförallt är tidsmässiga anpassningen av skötselåtgärder som genererar de största effekterna på de ekonomiska värdena för enskilda skogsägare.

**Nyckelord:** *Optimering, nuvärde, Heureka, PlanVis, beslutsstöd, konsekvensanalys, enskilda skogsägare.*

## Abstract

This study aims to examine differences between an optimized forestry and *today's forestry* for non-industrial private forest (NIPF) owners in Sweden. The research questions were examined by using national forest inventory data and forest consequence analysis from 2015. In order to make the data more manageable and to reduce the risk of over optimization, clusters were created out of National forest inventory data into fewer treatment units. The clusters were made for three counties representing different forest prerequisites: Västerbottens län, Örebro län and Kronobergs län. The result show that there is a significant difference between an economic optimized forestry and a scenario representing *today's forestry* when looking at the economic value, harvesting level, growing stock, fertilized area and cleaned area. The highest optimization effects were found in Västerbotten county and declined with the level of latitude. With a raised discount rate, the effect of optimization is reduced compared to *today's forestry*. Moreover, indications were found supporting that the timing of forest management have the greatest effect on the economic values for the non-industrial private forest owners.

**Key words:** *Optimization, NPV, Heureka, PlanWise, decision support system, DSS, NIPF.*

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	<b>5</b>
1.1 Syfte och frågeställningar	6
<b>2. Teoretisk bakgrund</b>	<b>7</b>
2.1 Enskilda privata skogsägare	7
2.2 Skogliga konsekvensanalyser	8
2.3 Skogsskötsel	9
2.4 Beslutsteori och rationalitet	10
2.5 Begreppsförklaring	10
2.5.1 Optimering	10
2.5.2 Nuvärde	11
<b>3. Metod</b>	<b>12</b>
3.1 Riksskogstaxeringens provytedata	13
3.2 Kluster	13
3.2.1 Klusterbildning	14
3.2.2 Klustervariabler	15
3.2.3 Klusterdata	16
3.3 Beslutsstödsystemet Heureka	19
3.4 Import till Heureka	20
3.5 TPG-inställningar	20
3.5.1 Domänindelning	21
3.5.2 Domäninställningar	21
3.5.3 Kontrollkategorier	21
3.5.4 Generate Treatment Programs (Strategic TPG):	24
3.6 Optimering	25
<b>4. Resultat</b>	<b>26</b>
4.1 Västerbottens län	26
4.2 Örebro län	29
4.3 Kronobergs län	32
4.4 Gödsling	35
<b>5. Diskussion</b>	<b>37</b>
5.1 Metod	37
5.2 Resultat	38
5.3 Skillnader mellan län	39
5.4 Studiens begränsningar	39
5.5 Fortsatta studier	41
5.6 Slutsatser	41
<b>Referenser</b>	<b>43</b>



## 1. Inledning

Enskilda privata skogsägare är viktiga aktörer för Sverige som land såväl som för Sveriges industri då de tillsammans äger cirka 48 procent av Sveriges produktiva skogsmark och står för ungefär 60 procent av den årliga avverkade skogsråvaran (SLU, 2018). Den totala exporten från skogssektorn uppgick år 2018 till 145 miljarder kronor vilket motsvarar ungefär 7 procent av Sveriges totala export (SCB, 2019). Utöver detta tillkommer även sysselsättning och andra icke monetära värden såsom kolbildning, rekreation och ekologiska. De stora värden som skogarna i Sverige bidrar med till samhällsekonomin är både idag och i ett historiskt perspektiv av stor betydelse. De enskilda skogsägarna har en stor inverkan på hur skogen i Sverige utvecklas och de värden som skogarna ger upphov till. Att sköta skog med avsikten att det ska generera en hållbar god avkastning på kort och lång sikt är nog svårt för professionella aktörer, än svårare för mindre insatta skogsägare som i olika stor utsträckning använder sig av skoglig rådgivning (Hujala et al. 2009).

För att få beslutsunderlag kopplat till skogsanvändningen och vilka effekter olika skötselmetoder och markanvändning kan ha på skogstillståndet genomför skogsstyrelsen i samarbete med SLU, skogliga konsekvensanalyser (SKA) med jämna mellanrum, senast 2015. Scenarier med olika förutsättningar vad gäller skötsel och användningen av skogen simuleras i beslutsstödsystemet Heureka RegVis. Simuleringarna gäller normalt för 100 år och utvecklingen av skogstillståndet och utfall i form av avverkningar kan följas i 5 årsperioder. Analyserna i Heureka RegVis inriktas främst mot att simulera förändringar i virkesförrådet samt ekologiska- och miljömässiga variabler (Claesson et al., 2015). Skogliga konsekvensanalyser används även i andra länder, exempelvis i Finland har liknande konsekvensanalyser genomförts (Hynynen et al., 2015; Heinonen et al., 2017). I dessa beräkningar utgörs indata om skogen av nationella taxeringsprovtytor, och både analysystemet och analyserna är anpassade till detta förhållande. Beräkningarna görs som simuleringar och kan inte optimeras med hänsyn till mål med skogsbruket.

De enskilda skogsägarna är en intressant grupp att analysera då dessa till skillnad från industriella skogsägare oftast inte är skogsbrukare till profession, vilket kan påverka de skogliga åtgärderna på olika sätt. Newman & Wear (1993) argumenterar för att det finns skillnader när det kommer till skötseln av bolagsägda skogar och privatägda skogar. De menar att många privata skogsägare inte är tillräckligt insatta i skogsskötsel, samt att de tenderar att värdesätta skogen annorlunda jämfört med stora skogsägare i bolagsform. Studier har visat att skogsägares attityder, värderingar och ägarskap är viktiga aspekter att ta i beaktning när man försöker förstå och förutsäga skogsägares beteenden inom den privata sektorn (Dhubáni et al., 2007). Enskilda skogsägare är enskilda individer vilket även betyder att de har olika målsättningar, förutsättningar och motiv med skogsägandet (Hugosson & Ingmarsson, 2004; Ingmarsson, 2004). Enskilda skogsägares skogsbrukande påverkas förutom av mål och motiv även av andra faktorer. Enligt beslutsteorier påverkas skogsägares beslutsfattande, kring skötsel av en fastighet, av en mängd olika variabler så som begränsad rationalitet,

perspektiv/inramning samt grupptillhörighet och normer (Simon, 1955; Tversky & Kahneman, 1981; Landa & Wang, 2001).

Enskilda skogsägare är en heterogen grupp vilket gör att brukandet av skogarna kan se väldigt olika ut och konsekvenserna av att om skogen sköts suboptimalt<sup>1</sup> finns det begränsad forskning kring. Motivet till denna studie är således att bidra till ett bredare perspektiv kring vilka skillnader som kan finnas mellan ett ekonomiskt optimerat skogsbruk och det nu rådande skogsbruket på privatägd skogsmark. Dessa analyser kan användas för att ge beslutsunderlag för politiker, skogsstyrelsen och industrier (Lönnstedt, 1998; Hynynen et al., 2015). För att bredda olika skogsintressenters informationsunderlag är en optimering av skogsskötseln önskvärd som jämförelse med de deskriptiva scenarioanalyser som vanligtvis utförs. Det finns ett antal anledningar för att undersöka hur stora vinster som skulle uppnås genom att sköta enskild privat skogsmark med optimerad skogsskötsel:

- Ge politiker utökat beslutsunderlag rörande behov av styrmedel.
- Bidra med information kring möjlig virkesproduktion.
- Ge skogsrådgivare information om möjlig förbättringspotential inom skogsbruket.
- Ge enskilda skogsägare information om rådande läge beträffande skogens brukande.
- Underlag till kommande regionala konsekvensberäkningar.

## 1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med studien är att undersöka hur skogsskötseln, skogstillståndet och utfallet skiljer sig åt i framtiden när skogen sköts med åtgärder som idag (*dagens skogsskötsel*) och med ett ekonomiskt optimalt skogsbruk. Genom att använda två olika angreppssätt för att styra skötselåtgärder kan skillnader påvisas. Studien avgränsas för att minska tidsåtgången för beräkningarna och datahanteringen till analyser för tre län som representerar olika geografiska områden i Sverige med olika skogliga förutsättningar. Länen som analyserats är Västerbottens, Örebro och Kronobergs län.

För att besvara studiens syfte har följande frågeställningar använts:

Skiljer sig det framtida skogstillståndet enligt *SKA 15:s* scenario *dagens skogsbruk* (Claesson et al., 2015) jämfört med en teoretiskt optimal skogsskötsel och i så fall hur mycket?

Skiljer sig åtgärder mellan *SKA 15:s* scenario *dagens skogsbruk* (Claesson et al., 2015) jämfört med dagens skogsbruk och det teoretiskt optimerade skogsbruket och i så fall hur mycket?

---

<sup>1</sup> Suboptimalt är något som inte uppnår lika högt resultat som något som är optimalt, en underprestation jämfört med vad som är möjligt.

## 2. Teoretisk bakgrund

Skogen i Sverige är uppdelad i olika former av ägande: enskilda privata skogsägare och övriga ägare. Enskilda privata skogsägare definieras som fysiska personer, dödsbon eller bolag som inte är större aktiebolag. Sverige består av cirka 23,6 miljoner hektar produktiv skogsmark och 48% av den arealen ägs av cirka 330 000 enskilda privata skogsägare (Skogsstyrelsen, 2019). Mängden av olika ägare, främst privata men även allmänna ägare som har olika mål, förutsättningar och kunskap om skogsskötsel bidrar till ett flertal uppfattningar om hur skogsskötseln bör bedrivas. Med andra ord påverkar faktorer så som storlek på brukningsenheter, kunskapsnivåer, målsättningar och varierande grad av engagemang det nuvarande brukandet av Sveriges skogar (Ingemarsson, 2004).

### 2.1 Enskilda privata skogsägare

Anledningen till att äga skog är många och skiljer sig åt beroende på skogsägare; enligt Ingemarsson et al. (2006) skulle skogsägare kunna delas in i fem olika grupper beroende på deras mål med skogsägandet; ekonomiska, miljövårdande, traditionella, storskogsägare och passiva ägare av skog. Indelning av skogsägare i liknande grupper har genomförts tidigare för att kunna dra slutsatser kring dessa grupperingar (Ingemarsson, 2004). Oavsett skogsägartyp är det vanligt att skogsägars övergripande mål ofta är att utveckla samt bruka fastigheten på ett hållbart sätt (Lönnstedt, 1997). Synen på ett hållbart brukande förändras kontinuerligt vilket även påverkar hur skogen sköts av markägare. Målsättningen med skötseln varierar även ofta under tiden en skogsägare äger skogen (Kuuluvainen, 1989; Wilhelmsson, 2011). Variationen i skogsskötsel som skogsägars olika målsättningar skulle kunna generera kan tonas ned av skogliga rådgivare som ofta inte har skogsägars mål klart för sig (Kindstrand et al., 2008). Det finns även stora skillnader enskilda skogsägare emellan när det kommer till användande av extern kompetens i form av skogliga rådgivare, samt hur mycket inflytande dessa får i skötseln av skogsbruksfastigheten. Tidigare forskning har visat att ungefär hälften av skogsägarna delade beslutsfattandet med rådgivare (Hujala et al. 2009), vilket tyder på att rådgivare har en viktig roll i att maximera måluppfyllnaden för de enskilda skogsägarna.

De flesta enskilda skogsägarna undviker risker och betraktar sin skogsmark som säkrare eller lika säkert som att placera pengar på banken (Lönnstedt & Svensson, 2000). De är även generellt sett mest oroade över de direkta ekonomiska faktorerna såsom priser på virke och avverkningskostnader. Indirekta ekonomiska faktorer är svårare att beräkna samt ta hänsyn till och består bland annat av risk för stormfällningar, insektsangrepp, rotröta och viltbete (Lönnstedt & Svensson, 2000). Att värdera risk utifrån direkta ekonomiska faktorer kan bidra till mindre lämpliga vägval: Lindskog & Sjödin (2014) menar exempelvis att beslut att återbeskoga de stormfällade skogarna med gran vara fullt rationellt och det minst riskfyllda alternativet i en markägars ögon, även om det sker mot skogsrådgivares inrådan. Vidare menar författarna att skogsägare kan påverkas av varandra, vilket bidrar till ytterligare upplevd rationalitet att återbeskoga stormfällningarna med gran. Dessa slutsatser stöds även av Felton et al. (2010) som även menar på att icke ekonomiska normativa faktorer spelar en stor roll i beslutsfattandet. Vidare har skogsägare ofta ett långsiktigt perspektiv som sträcker sig ungefär

25 år framåt i tiden, vilket kan begränsa virkesprisernas och skogspolitikens påverkan på skogsskötseln (Lönnstedt, 1997). Virkesprisernas begränsade påverkan på enskilda skogsägares beslutsfattande stöds även av Beach et al. (2005), då författarna till metastudien inte anser att skogsägare nämnvärt påverkas av priser på virke, kostnader för åtgärder eller räntefluktuationer. Däremot anser Beach et al. (2005) att förändrad skogspolitik har en större inverkan på hur skogsägare sköter sin skog.

Efter skogsvårdslagens revidering år 1993 (SFS 1993:1096), som i praktiken innebar en avreglering, ges skogsinnehavaren ett större inflytande över skogsskötseln på den egna fastigheten. Detta eftersom de lagar som utgör ramverket för vad som är tillåtet traditionellt sett blev vidare och tillåter stora valmöjligheter när det kommer till skötselmetoder (Enander, 2007). Den variation som kan uppstå mellan olika markägare är på gott och ont då det får konsekvenser för skogsindustrier, skogens ekologi och rekreationsmöjligheter. Då skogsvårdsförordningen (SFS 1993:1096) tillåter en förhållandevis stor valfrihet beträffande hur skötsel av skogsmarken skall bedrivas, ökar vikten av de privata skogsägarnas kunskap inom området och/eller viljan att konsultera rådgivare som besitter skoglig kompetens.

## **2.2 Skogliga konsekvensanalyser**

För att bibehålla kontroll över skogsskötseln och markanvändningen tas långsiktiga skogliga konsekvensanalyser fram hos många skogsnationer, detta med anledning av att kunna föra en väl avvägd skogspolitik (Lönnstedt, 1998). För skogsmark i Sverige har Skogsstyrelsen tillsammans med Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) arbetat fram olika troliga scenarier utifrån nuvarande markanvändning och skogsvård. Syftet med dessa analyser är att få en djupare kunskap kring skogsmarkens nuvarande status och utveckling för att kunna användas som underlag vid beslutsfattandet gällande frågor som rör den långsiktiga användningen av skogen. Dessa scenarier är uteslutande långsiktiga och använder sig av provytor från rikstäckande inventeringar utförda av Riksskogstaxeringen och även andra datakällor som kompletterar datamängden, exempelvis med andelen hänsynsytor och frivilliga avsättningar (Claesson et al., 2015).

Begreppet konsekvensanalys används för den analys som genomförs för att bedöma utfallet av en viss handling eller tanke om ny implementering. En risk- och konsekvensanalys används oftast som ett underlag för att fatta välgrundade beslut vid svårbedömda utfall (Vose, 2008). För att kunna ta välavvägda beslut i frågor som får stor påverkan på ekologiska, sociala och inte minst ekonomiska värden behöver beslut följa en viss struktur. För att klargöra problem och förenkla beslutsfattandet, samt möjliggöra att beslut tar hänsyn till så många nyttigheter som möjligt bör en mängd alternativ genomarbetas utifrån den information som finns tillgänglig. Enligt Keneey (1982) är det viktigt att veta till vilken grad olika mål påverkas av olika handlingsalternativ för att kunna evaluera nyttan av alternativen. Nyttan av strukturerade och genomarbetade beslut finns även när dessa beslut i efterhand ska kunna försvaras vid ifrågasättande av andra påverkade intressenter eller när beslut har mycket stor påverkan på olika utfall.

## 2.3 Skogsskötsel

I Sverige bedrivs skogsbruk på förhållandevis likartat sätt över hela landet med trakthyggesbruk som dominerande skogsbruksmetod sedan tidigt 1950-tal (Ekelund & Hamilton, 2001). Trakthyggesbruket går ut på att bruka skogen cykliskt och skogen sköts i de olika faserna föryngringsfas, ungskogsfas, gallringsfas och slutavverkningsfas. De olika faserna innebär att skogsskötselåtgärder görs med olika tidsintervall. Att exempelvis inte röja eller gallra ett bestånd kategoriseras ändå som trakthyggesbruk så länge skogen sköts cykliskt. Skogsskötseln skiljer sig mer eller mindre åt mellan olika skogsägare under hela omloppstiden. Omloppstiden för ett bestånd styrs delvis av skogsvårdslagens lägsta tillåtna ålder för föryngringsavverkning som beror av skogsmarkens bonitet och läge i landet, men även efter skogsägarens preferenser och mål med ägandet.

För privata skogsägare sker föryngring vanligen genom markberedning följt av plantering eller fröträdställning kombinerat med markberedning (SOS, 2004). Efter föryngringsfasen sköts skogen i ungskogsfasen oftast genom røjning för att gynna de träd som i framtiden mest troligt kommer att inbringa högst värde för skogsägaren. När ungskogsfasen utvecklas till gallringskog gallras skogen oftast genom gagnvirkesuttag för att gynna utvalda träd och avverka mindre önskade träd. I gallringsfasen börjar skogsägaren kunna ta ut gagnvirke och få ett positivt netto från skötselåtgärden. När skogen passerar den lagstadgade lägsta åldern för föryngringsavverkning (LÅF), som varierar med boniteten på skogsmarken och landsdel, är skogen tillåten att slutavverkas. Om skogen slutavverkas tas större delen av den kvarvarande stående skogen ned förutom de delar som lämnas till hänsyn. Skogen föryngras därefter genom markägarens försorg och cirkeln är sluten varpå nästa generation av skog etableras.

Under omloppstiden så kan produktionshöjande åtgärder vidtas, om skogsmarken anses lämplig, genom att kvävegödsla. I tidigare studier har gödsling framförts som den skötselåtgärd som tydligast ger snabbt ökad tillväxt av biomassa till fördel för både skogsägare och samhällsekonomi (Brännlund et al., 2009; Näslund et al., 2013). Majoriteten av boreala skogars produktion av skogsråvara begränsas av kvävebrist (Högberg et al., 2017), vilket gör det möjligt att gödsla skogsmarken i syfte att höja skogsmarkens virkesproducerande förmåga under 8-10 år framåt (Kukkola & Saramäki, 1983). Enligt Näslund et al. (2013) finns en potential att teoretiskt öka gödslingsmängden till 300 000 ha/år utan att gå utanför skogsstyrelsens allmänna råd. I tidigare beräkningar från 1973 års skogsutredning ”Skog för framtid” har ett av skogsbruksalternativen ett produktionshöjande mål vilket innebär en succesiv ökning av årlig gödslad areal upp till 450 000 ha (SOU, 1978). Näslund et al. (2013) hävdar att det mestadels är storskogsbruket som är intresserade av att gödsla sina skogsmarker då logistiken kring gödsling är svår för mindre fastigheter. Gödsling kan genomföras i ungskog såväl som gallringsskogar, däremot finns mindre motivation till att gödsla ungskogar då virkeskvaliteten med stor sannolikhet blir sämre (Nikkola, 1985). Gödsling bör av ekonomiska skäl förläggas nära avverkningstidpunkt (dock kring 10 år innan för att utnyttja gödselgivan) för att få maximal utväxling av investerat kapital. Gödsling har förutom en gynnsam ekonomisk påverkan andra möjliga negativa effekter som mestadels knyts till risken för övergödning och stormfällning. Risken för stormfällning går att minska genom att inte gödsla direkt efter gallring och att inte gödsla beståndskanter (Laiho, 1987; Laiho, 1989). Utlakningen av näringsämnen bedöms enligt Ring (2007) vara 5–10% av gödselgivan, högt räknat. Gödslade

marker riskerar även att avge större utlakning av kväve vid avverkning då kväveförrådet byggs upp i marken efter utförd gödsling (Högbom & Jacobsson, 2002). Effekten av förhöjd kväveutlakning vid avverkning kan till viss del minskas genom att i samband med avverkning utföra uttag av biomassa (Akselsson et al., 2004). Det kan nämnas, för att bidra till ett bredare perspektiv, att skogsbruket i Sverige står för ungefär 3% av det totala kväveläckaget till Östersjön (Futter et al., 2010).

## **2.4 Beslutsteori och rationalitet**

Människors förmåga att fatta rationella beslut begränsas både av minnet och förmågan att bearbeta information (Miller, 1956). Enligt tidiga ekonomiska teorier (*homo economicus*) så antas människor ta fullständigt rationella beslut utan att i sitt val bli påverkad av yttre faktorer, begränsas av komplexiteten eller av informationstätheten. Att människor ska vara fullständigt rationella i sina beslut utmanar Simon (1955) med teorin om *Bounded rationality* (Begränsad rationalitet) som tar hänsyn till de kognitiva begränsningar olika människor besitter. Begränsad rationalitet innebär att maximering av nyttan inte kommer kunna uppnås men däremot en tillfredsställande nytta. Vidare är den mest utbredda ekonomiska teorin för att ta beslut under risk; *Expected utility model* (förväntad nytto-modell) som går ut på att sannolikhet och nytta vägs in i själva beslutsfattandet (Tversky & Kahneman, 1981). Det beslut som sedermera tas bör vara det som ger högst förväntade nytta (Von Neumann & Morgenstern, 1947; Fishburn, 1979). Under 1900-talets senare del tas även andra aspekter upp förutom begränsad rationalitet där transaktionskostnader och osäkerhet är viktiga aspekter (Landa & Wang, 2001). Författarna konkluderar även att beslutsfattare påverkas av andra mer sociala faktorer där släktskap, gruppstorlek, gruppsammansättning, och outtalade sociala normer spelar olika stora roll. För att komplicera ämnet ytterligare påvisar Tversky & Kahneman (1981) att beslut kan vara orationella utifrån nyttomaximerings teori främst beroende av vilka perspektiv som personerna i fråga har, vilka i hög grad påverkas av inramningen till beslutsproblemet.

## **2.5 Begreppsförklaring**

### **2.5.1 Optimering**

Att optimera något är att uppnå det bästa möjliga utfallet av en eller flera beslut och handlingar, i detta fallet att uppnå störst nytta med skogsbruket av skogsmark. En skogsägare strävar rimligen mot den största möjliga nytta som kan uppnås genom skogsfastigheten (Von Neumann & Morgenstern, 1947). Störst upplevd nytta för skogsägare är då något som bör strävas efter att optimeras. Vad som är optimal nytta för en skogsägare är till stor del beroende av skogsägarens preferenser. En skogsägares preferenser är lika viktiga som markens produktionsförmåga för att beräkna ett optimalt skogsbruk av skogsinnehavet (Amacher et al., 2009). För att möjliggöra optimering behöver vissa antaganden göras, enklast genom att skogsägare antas vilja sköta skogsinnehavet så att det ger högsta möjliga ekonomiska avkastning genom att maximera nuvärdet av skogsbruket.

### **2.5.2 Nuvärde**

Definitionen av nuvärde kan uttryckas som det diskonterade värdet av vinsten som fås minus de kostnader som uppkommer under en rotationsperiod (Reed, 1985), markvärdet tas alltså inte med i beräkningen. För att beräkna ett nuvärde använder man sig av en förutbestämd diskonteringsränta som sedan används för att beräkna avkastningen av investerat kapital. Investerat kapital handlar i skogsbrukssammanhang främst om kapital investerat för att förvärva skogsfastighet och investeringar kopplade till skötsel av skogsinnehavet. För att beräkna en investerings lönsamhet, över längre tid, så måste det framtida värdet diskonteras med en diskonteringsränta då en intäkt idag är värda mer än en intäkt i framtiden.

### 3. Metod

Data från Riksskogstaxeringens provytor mellan åren 2008 och 2012 har använts som indata (Fridman et al., 2014). Datasetet inkluderade 2582 provytor fördelat på tre län som innehåller en mängd data för variabler så som grundyta, ståndortindex, höjd och stamantal. För att få ett representativt urval över olika skogliga förutsättningar i Sverige har provytor från tre olika områden använts; Västerbottens län, Örebro län och Kronobergs län. Dessa områden har valts ut subjektivt för att i möjligaste mån täcka in de skogliga variationer som finns för privata skogsägare inom Sverige. En överskådlig bild av fördelningen inom de olika länen framgår av tabell 1. Genom att utföra länsvisa analyser kan eventuella skillnader mellan *dagens skogsbruk* och ett optimerat skogsbruk jämföras på en högre detaljnivå och skillnader inom landet påvisas. För att minska beräkningsmängden och risker förknippade med optimering av små provytor har det statistiska verktyget MiniTab använts för att gruppera/klustra provytedata till större behandlingsenheter. Om analys genomförs med små provytor som behandlingsenheter som representerar en stor areal/behandlingsenhet riskerar analyserna att grundas på orealistiskt anpassade åtgärder vilka kan bli missvisande. En så kallad överoptimering kan uppstå genom att mindre provytor som tillsammans ger en bra bild över skogsmarkens beskaffenhet optimeras separat. Små ytor vilka behandlas som hela bestånd riskerar att leda till orealistiska skötselåtgärder av provytan som är en liten del av ett större bestånd. Dessa skötselåtgärder av små ytor kan således resultera i att en orealistisk överoptimering sker. Problemet med optimering av små provytor kan minskas genom att gruppera liknande provytor med varandra. Grupperingen av data till större enheter har genomförts efter euklidisk distans<sup>2</sup> mellan datapunkterna. Det grupperade datamaterialet har i genomförda analyser använt de medelvärden för respektive variabel som åstadkommit genom att provytorna summerats samman i förhållande till sin viktning. För att säkerställa reliabiliteten av kluster har en statistisk analys av variansen och medelfelen inom de framtagna klustren gjorts, detta för att kontrollera att variationen inom dessa kluster är adekvata.

Den valda klustringsmetoden påverkar indata på så sätt att trädvisa data blir konverterat till beståndsvisa genom att medelvärden för respektive kluster genereras. Dessa beståndsvisa data kommer därefter via en importprocess i beslutssystemet Heureka användas för att åter generera en trädlista per bestånd genom teoretisk diameterdistribution för äldre skog eller höjdfördelning för ungskog/plantskog (Wikström et al., 2011). Importerade beståndsdata användes därefter för analyser som syftar till att optimera skogsskötseln med beslutsstödsystemet Heureka PlanVis. Resultatet från analyserna jämfördes därefter med analyser genomförda i Heureka RegVis med inställningar som den senaste skogliga konsekvensanalysen, SKA 15, använt sig av i simulering av scenariot *dagens skogsbruk*. Analyser genomförda i RegVis är utförda för att få en rättvis jämförelse mellan optimerad skogsskötsel och scenariot *dagens skogsbruk* för att ta bort risken att resultatet påverkas av klusterförfarandet.

---

<sup>2</sup> Euklidisk distans: mått på avståndet mellan två punkter.



**Tabell 1. Översiktlig data över riksskogstaxeringens provytor och data nyttjat i analyser för tre geografiska områden**

*Table 1. Descriptive data over national forest inventory sample plots clustered into three geographic areas*

	Västerbottens län	Örebro län	Kronobergs län
Antal provytor (st)	1268	432	882
Antal kluster (st)	110	72	101
Median provytor per kluster (st)	11	5	8
Andel hänsynsareal (%)	2	3	3
Andel frivillig avsättning (%)	6,6	5,2	6,0
Medelålder (år)	65,6	50,1	45,6
Medelvoly (m <sup>3</sup> sk/ha)	101,7	160,7	136,6
Bonitet (m <sup>3</sup> sk/ha, år)	3,5	8,1	9,3
Trädslagsfördelning (TGL)	48/37/15	31/56/13	30/56/14

Not: Bonitet uttrycker skogsmarkens produktionsförmåga mätt som medeltillväxtens högsta nivå och anges i m<sup>3</sup>sk/hektar och år.

*Note: Bonitet describes the forest soil production capacity measured as the highest level of medium growth and is expressed in m<sup>3</sup>sk/hectare and year.*

### 3.1 Riksskogstaxeringens provytedata

Riksskogstaxeringen består av två olika systematiskt utlagda stickprov, ett permanent och ett tillfälligt. Stickproven består i sin tur av så kallade trakter, fyrkanter med ca 1 km långa sidor, med cirkelprovytor utlagda längs sidorna. I det tillfälliga stickprovet har cirkelprovytorna 7 m radie och i det permanenta 10 m radie. Det totala antalet provytor uppgår till ungefär 55 000 varav en femtedel mäts varje år (Fridman et al., 2014). Det data som framställs genom stickprovsinventeringen syftar till att användas som underlag för främst skogs- och miljöpolitik men även för andra intressenter så som forskare, skogsnäringen, intresseorganisationer och myndigheter. För att data ska kunna användas till många olika användningsområden mäts ett stort antal skogliga variabler (SOS, 2018). Ett begränsat antal av dessa variabler har nyttjats i denna studie för att ge en användbar beskrivning av skogstillståndet.

### 3.2 Kluster

Enligt Wilhelmsson (1981) kan riksskogstaxeringens små och få provytor inom ett geografiskt område ge en felaktig bild av ett bestånd då variationen inom en enhet kan vara stor. För att göra materialet mer pålitligt, hanterbart och överskådligt har ett övervägande om klustring av provytorna gjorts med stöd från SOU (1979). Klusteranalys karaktäriseras av en mängd olika statistiska procedurer och innebär i korta drag att en större mängd data kategoriseras beroende av utvalda variabler, till en mindre mängd data grupperade till kluster. Det finns många användningsområden och olika metoder för att klustra data vilka använder olika procedurer som ofta ger skilda resultat utifrån samma ingångsdata. Därför bör den klustringsmetod som bäst passar för ändamålet och data väljas (Blashfield, 1976). De vanligaste och mest populära klustringsmetoderna är de som återfinns inom agglomerativa hierarkiska metoder. En matris byggs då upp efter de likheter som återfinns mellan de olika dataobjekten. Agglomerativ hierarkisk klassificering placerar objekt i ett eget kluster och stegvis expanderar dessa kluster i omfång efter förnyade beräkningar. Dessa förnyade beräkningar genomförs för varje steg och sammanfogar objekt till kluster tills endast ett kluster innehåller alla objekt (Blashfield, 1976;

Jain & Dubes, 1988). Sekvensen av klustringsförfarandet kan visuellt illustreras genom ett dendrogram<sup>3</sup> som även kan användas för att kontrollera hur många kluster som krävs för en viss nivå av likhet mellan objekten. Genom att ”skära av” ett dendrogram horisontellt skapas ett antal kluster beroende av vilken likhetsnivå inom klustren som är önskvärt. Människor är duktiga på att finna mönster i data och kategorisera detta i både två och tredimensionella nivåer, däremot kan användningen av algoritmer minska beräkningstiden vid stora datamängder och ger möjlighet att kontrollera samt villkora grupperingar i fler dimensioner (Jane & Dubes, 1988; Jane et al., 1999). Olika människor har även en tendens att hitta olika mönster i samma datamängd, att gruppera kluster med hjälp av algoritmer har fördelen att klusterfördelningen förblir konsekvent och objektiv (Jain & Dubes, 1988).

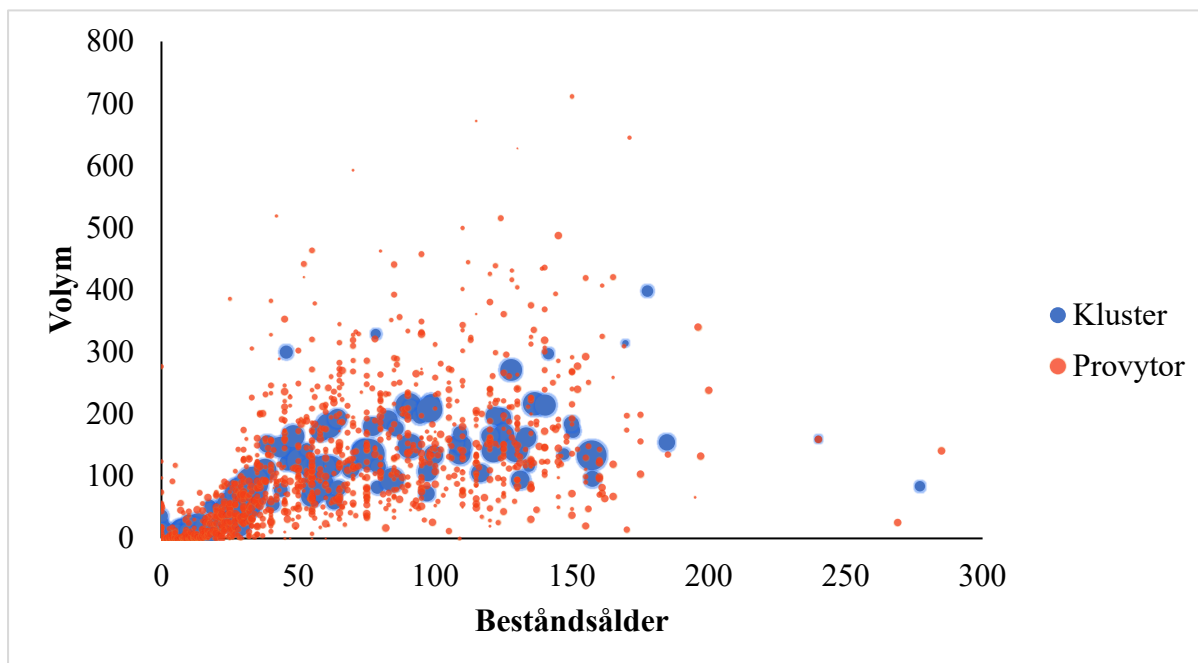
I denna studie har de olika provytorna delats in i grupper utefter homogenitet av utvalda relevanta variabler liknande förslag från SOU (1978) för att efterlikna grundtillståndet så väl som möjligt. Provytor med liknande egenskaper med hänseende på utvalda variabler slås samman och medelvärden kan generas för de nyskapade bestånden vilka sköts som en skötselenhet. Klustring av provytor kommer genomföras i linje med SOU (1978), som argumenterar för att behandlingsenheterna bör bygga på en rimlig kompromiss mellan homogenitet och uppdelning av analysområden. Sverige delades, enligt betänkandet av 1973-års skogsutredning, upp i 60–120 behandlingsklasser inom varje analysområde. Utredningen rekommenderar en indelning i skötselenheter utifrån huggningsklass, bonitetsklass, slutenhet, och trädslagsfördelning.

### 3.2.1 Klusterbildning

Vid klusterbildning av data krävs en avvägning mellan antalet kluster och hur hög variation som tolereras inom klustren (Jane & Dubes, 1988). För sammansättning av kluster har en likhetsfaktor på 97 använts, vilket får anses vara ett högt krav då maximal likhetsfaktor är 100. Värdet 100 representerar noll olikheter mellan valda variabler som datamängden klustras utifrån. Ett rimligt antal kluster med så liten variation inom dessa som möjligt och som liknar grundtillståndet var målsättningen för grupperingen av datamängden. För att lyckas nå målet med klusterförfarandet krävs det att olika metoder för beräkandet av kluster testades och att resultatet utvärderas (Blashfield, 1976). Metoden för att generera kluster har anpassats till det data som ska grupperas och har inte varit förbestämd. Efter en metodisk genomgång av lämplig agglomerativ hierarkisk klusteranalys, utförd i MiniTab, valdes slutligen metoden *minimum variance method* (Ward, 1963). Metoden som utgår från att minska variansen inom de enskilda klustren användes med euklidisk distans i kvadrat för att förstärka de skillnader som finns mellan de olika provytorna. Vid val av klustringsmetod har hänsyn tagits till att försöka efterlikna grundtillståndet i skogens sammansättning så bra som möjligt och även att objektens fördelning mellan kluster ska vara relativt jämnt. Variationen inom klustren för olika variabler har kontrollerats för att inte grupperingarna ska bli orimliga utifrån de bedömt viktigaste variablerna.

---

<sup>3</sup> Dendrogram: Graf som illustrerar klusteranalysen och dess kopplingar i ett trädliknande klassificeringsschema.



Figur 1. Punktdiagram mellan provytor respektive kluster mot beståndsålder (år) och volym (m<sup>3</sup>sk/ha), de blå och röda ytornas area är proportionella mot provytornas respektive klustrens arealvikt

*Figure 1. Scatter plot between sample plots and clustered data examining age of the forest stand (year) and volume (m<sup>3</sup>sk/hektar), the blue and red plot areas in the figure represent the actual proportion of both sample plot and clustered area weight*

Efter genomförd klustring av provytedata har en arealviktning gjorts för att medelvärdena ska bli korrekt viktade. Arealviktning av datamängden genomförs för att olika provytor kan representera olika stora områden och för att riksskogstaxeringen använder sig av delade provytor. Delade provytor kan bli relativt små och får således en lägre vikt än de fullstora provytorna. Arealen per kluster blir även beräknad genom att summera ihop arealviktningen, vilket har en avgörande roll för hur skogstillståndet ser ut. Figur 1 visar vilken effekt klusterförfarandet får, för två variabler, där ytterligheter ”normaliseras” och med hjälp av arealviktning får kluster att relativt väl överensstämmer med grundtillståndet. Storleken på extremvärdena i figur 1 visar på liten arealvikt, vilket tyder på att ytorna mest troligt är delade av riksskogstaxeringens inventerare.

### 3.2.2 Klustervariabler

För att välja ut vilka variabler som ska få styra grupperingen av data till kluster identifierades de variabler som har störst potentiell inverkan på framtida skötsel och utveckling av beståndet. En avvägning har gjorts kring hur många variabler som ska användas för klusterbildningen. Detta eftersom vissa variabler är viktigare än andra för att beskriva skogens framtida utveckling och skötsel. Större antal inkluderade variabler ger viktiga variabler mindre påverkan på klusterbildningen, vilket kan leda till kluster som inte motsvarar variationerna som finns i skogstillståndet. De variablerna som gav mest tillfredsställande resultat och valdes att utföra

klustringen efter var *beståndsålder*, *SIS*<sup>4</sup>, *andel gran*, och *andel tall*. Dessa variabler valdes för att de gav en liten variation kring viktiga parametrar som påverkar skogsutvecklingen av de nybildade skötselenheterna. För att en större tyngd ska läggas på åldersfördelningen inom klustren har variabeln *Beståndsålder* tagits med tre gånger i klusterbildandet för att på så sätt uppnå lämplig åldersfördelning inom klustren. Det innebär att *beståndsålder* har använts i tre klustervariabler jämfört med de andra variablerna *SIS*, *andel gran* och *andel tall* som endast tas med en gång vardera. Klustervariabler som använts är alltså; *Beståndsålder 1*, *Beståndsålder 2*, *Beståndsålder 3*, *SIS*, *andel gran* och *andel tall* där *beståndsålder 1*, *2* och *3* innehåller samma värden.

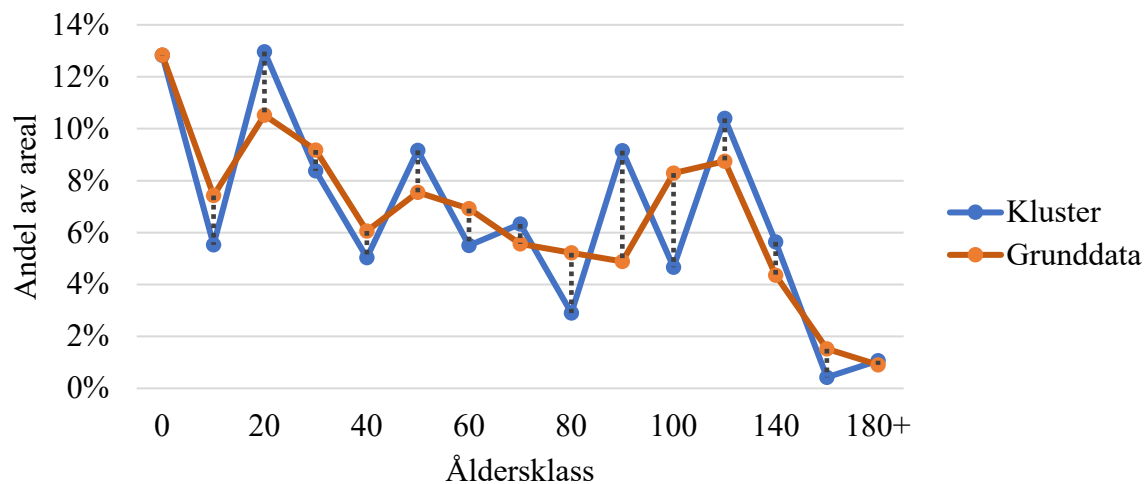
Kalmarksytor har lyfts ut för varje län och genomgått en särskild gruppering då variabeln trädslagsfördelning ej kan användas för att beskriva ytorna. Kalmarksytorna har grupperats för sig efter *SIS*, *markfuktighet* och *torvtäckningsgrad*.

### 3.2.3 Klusterdata

Resultaten för klustren i Västerbottens län, Örebro län och Kronobergs län har kontrollerats för att jämföra hur väl klustrade data stämmer överens med grunddata, som studien baseras på, för varje enskilt län. Kontrollen syftade till att statistiskt säkerställa att de nybildade behandlingsenheterna inte skiljer sig från grundtillståndet alltför mycket då detta skulle kunna medföra ett missvisande resultat. För att jämföra klustren med grundtillståndet har klustren och grunddata från riksskogstaxeringen delats upp i klasser per variabel. Arealsumman har beskrivits procentuellt för varje klass, vilket medför att en enkel jämförelse mellan grunddata och klusterdata kunnat genomföras (figur 2). Skillnaden mellan grunddata och klusterdata fås genom att subtrahera arealsumman för variabelns klass, uttryckt i procent, med varandra som illustreras av den streckade linjen som finns mellan kluster och grunddata (figur 2). Klassindelningen skiljer sig mellan variabler då de innehåller olika värden, de är däremot anpassade för att ge 10–15 olika klasser per variabel för att ge en rimlig detaljnivå. Klasserna har inte anpassats för att ge så liten variation som möjligt utan har ett jämnt antal år mellan varandra. För exempelvis *andel gran*, *andel tall* och *andel björk* är variablerna uppdelade i 10 klasser med 10 procents intervaller. Klass nummer ett för björk samlar alltså alla kluster som innehåller 0–10 procent björk och arealsumman summeras för att jämföras med grundtillståndet. För varje variabel och klass fås den procentuella skillnaden mellan dataseten så variationen kan beräknas. Variationen redovisas som standardavvikelse per variabel och län (tabell 2) för att visa på klusterdatas användbarhet och tillförlitlighet. För klusterdata är fluktuationerna större mellan klasserna, vilket illustreras i figur 2, som beror av att klusterdata består av ungefär en tiondel så stor datamängd som provytorna. Det är däremot de större strukturerna i data som är viktiga att efterlikna vid klustring och för att kontrollera att en dragning mot mittenvärden inte sker i för stor utsträckning.

---

<sup>4</sup> SIS är en förkortning för ståndortsindex med ståndortsegenskaper.



Figur 2. Linjediagram av arealfördelning över åldersklasser för kluster och grunddata uppdelade efter 10-års intervall för Västerbottens län

Figure 2. Line chart of the distribution of the summarized area within age groups for clustered data and sample plot data divided into ten year intervals for Västerbottens lan

**Tabell 2. Standardavvikelsen för de procentuella skillnaderna mellan klusterdata och grunddata för de viktigaste beskrivande variablerna för skogstillståndet över tre län**

Table 2. Standard deviation of the percentage of difference between clustered data and sample plot data for the most important describing variables for the forest soil in three geographic areas

	Västerbottens Län	Örebro Län	Kronobergs Län
SIS	1,73	0,97	2,10
Ålder	1,98	2,28	1,04
Virkesvolym	2,95	5,54	3,25
Andel Tall	2,65	2,27	2,08
Andel Gran	2,53	4,41	2,59
Andel Björk	3,65	3,86	1,16

Deskriptiv statistik för de framställda klustren har beräknats med statistikprogrammet MiniTab. De värden som beräknats för varje kluster är medelvärde, median, minvärde, maxvärde, medelfel och standardavvikelse. Standardavvikelsen för olika variabler inom varje kluster har bedömts vara tillräckligt låg för att analyser ska kunna genomföras med ändamålsenlig precision (tabell 3).

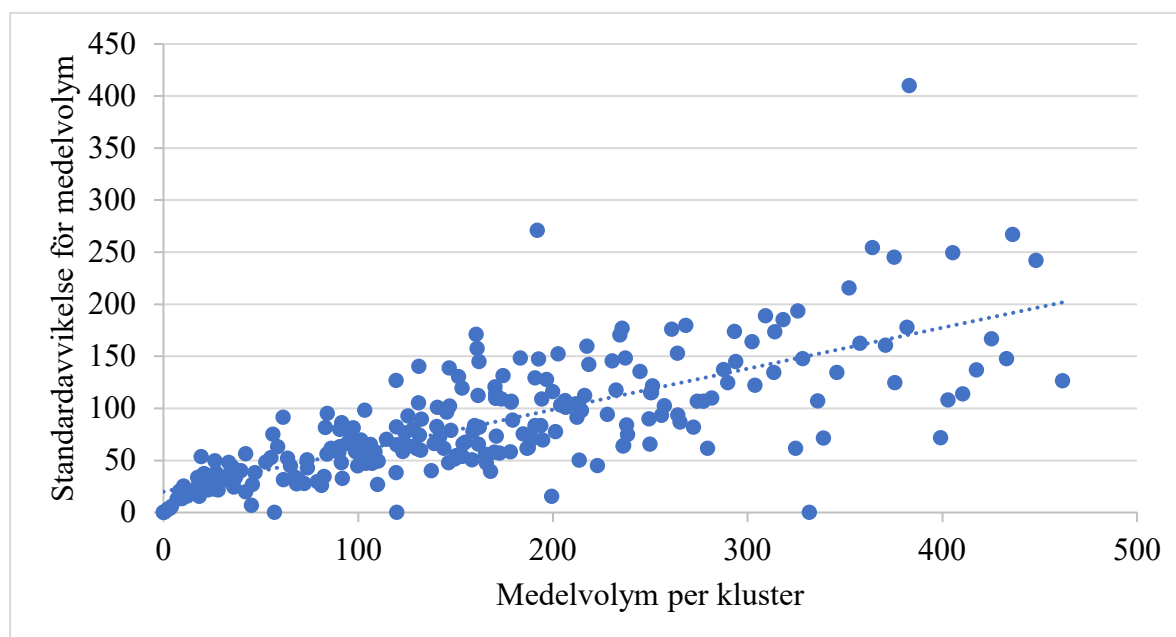
**Tabell 3. Medelvärde för variationen inom samtliga kluster uppdelat på utvalda variabler för respektive län**

*Table 3. Mean value for the variation in cluster data divided into three geographic areas*

	Västerbottens Län	Örebro Län	Kronobergs Län
SIS	0,8	1,0	1,1
Ålder (år)	7,6	6,0	5,1
Virkesvolym (m <sup>3</sup> sk)	67,2	102,7	82,5
Andel Tall	7,7	6,6	7,2
Andel Gran	7,0	7,7	7,6
Andel Björk	10,2	10,6	10,4

Not: Variationen är uttryckt som medelvärde av standardavvikelsen, för alla kluster uppdelat per variabel  
*Note: The variation is expressed as the mean value of the standard deviation for all the clusters divided in variables*

Standardavvikelsen per kluster för just volym är relativt hög, vilket förklaras delvis av att variationen ökar inom klustret när en högre medelvolym uppvisas. Volym fluktuerar även relativt mycket jämfört med andra variabler inom samma bestånd, vilket betraktas som normalt. Figur 3 visar att ett mönster kan urskiljas där sambandet mellan standardavvikelse för medelvolymen och medelvolym är klart urskiljbart, vilket till del förklarar det höga medelvärdet för standardavvikelsen.



Figur 3. Punktdiagram av standardavvikelse för medelvolym (m<sup>3</sup>sk) inom respektive kluster för Västerbottens län  
*Figure 3. Scatter plot of the standard deviation for the mean volumes (m<sup>3</sup>sk) in each cluster for Västerbottens län*

### 3.3 Beslutsstödsystemet Heureka

Vid framskrivning av skogen och analyser har två applikationer i beslutsstödsystem Heureka använts; Heureka PlanVis och Heureka RegVis. Dessa system används för att beräkna bland annat skogstillväxt, kolinlagring, rekreationsvärde och naturvärden som varierar med vald skogsskötsel. Genom att integrera dessa, ofta motstående, parametrar kan ett helhetsgrepp tas och läggas till grund för beslutsfattare genom att visa på konsekvenser av olika handlingar och skötselstrategier. Första versionen av Heurekasystemet blev färdigställt av SLU 2009 och innehåller en produktflora med tre huvudapplikationer; BestandsVis, PlanVis och RegVis (Wikström et al., 2011). De två systemen som användes i dessa analyser, PlanVis och RegVis, använder samma grundmodeller för beräkningar och möjligheter att styra och utföra beräkningar efter valda skötselmetoder och inställningar. Heureka-systemets funktioner för simulering av tillväxt, avgång och inväxning grundar sig i empiriska data (Fahlvik et al., 2014). Skillnaden mellan de använda systemen är att PlanVis har en optimerande funktion där val av skogsskötselalternativ optimeras efter definierat mål, givet ett antal restriktioner och RegVis inriktas mot att konstruera resultat av ett scenario som baseras på vilka inställningar användaren väljer för att styra skogsskötselåtgärderna. Heurekaapplikationerna räknar fram skogens beskaffenhet utifrån en mängd variabler som beror av vilka data som importerats, vilka beräkningsfunktioner som används och vilka skogsskötselåtgärder som tolereras. Framskrivningen av skogen är uppdelad i perioder om fem år och används oftast för att räkna fram åtgärder samt förändringen av skogstillståndet under längre beräkningshorisonter, vanligtvis 100 år.

Analyser med PlanVis påbörjas genom att grundläggande inställningar bestäms, därefter sker ett antal framskrivningar vilket genererar en valbar mängd skogsskötselalternativ för respektive bestånd. I optimeringsfunktionen väljs därefter vilket skogsskötselalternativ per bestånd som genererar högst måluppfyllnad med hänsyn till de restriktioner som användaren har formulerat för hela eller delar av fastigheten. PlanVis ger stora möjligheter till att skräddarsy utfallet efter egna inställningar inom de valda åtgärdsramarna. Systemet är även modulärt på så sätt att de flesta inställningar kan ändras och beräkningsmodeller kan, liksom för RegVis, bytas ut (Wikström et al., 2011). Med Heureka RegVis kan olika scenarion simuleras med hjälp av definierad skogsskötsel för att genomföra regionala konsekvensanalyser, det vill säga att programmet utgår från skötseln som är förvald och simulerar sedan en enligt scenariot förväntad framtid (Wikström et al., 2011). Då analyser genomförda med RegVis inte är tänkta att vara optimerande används en prioriteringsfunktion som ska illustrera verkliga skogsägars beslutsfattande. Då det endast beräknas ett skogsskötselalternativ per bestånd i RegVis är beräkningarna betydligt mindre tidskrävande i jämförelse med analyser med PlanVis.

De analyser som den här studien inriktar sig mot innefattar optimerande beräkningar varvid PlanVis huvudsakligen kommer användas. Analyser genomförda i RegVis kommer endast syfta till att utgöra referens till framräknade resultat genom att använda inställningar mer eller mindre direkt kopierade från *SKA 15:s* scenario *dagens skogsbruk* (Claesson et al., 2015).

### 3.4 Import till Heureka

För att importera data till Heurekasystemets databas har vissa värden kodats om. Syftet med omkodningen är att anpassa data till att passa in i importmallen då exempelvis trädslag benämns olika. I mallen försågs även rätt etiketter enligt importmall för de beskrivande variablerna vilket möjliggjorde att systemet kan utläsa data korrekt. Vidare användes systeminställningen *import för beståndsregister* som nyttjar sig av de medelvärden varje kluster innehåller. Kluster data konverteras till träddata genom att en Weibullfördelning används (Weibull, 1951). Träddata simuleras genom en diameterfördelning (Wikström et al., 2011) och för varje träd beräknas en höjd genom en höjdfunktion (Söderberg, 1992). Höjdfunktionen används för att uppnå en realistisk fördelning så alla träd inte ges samma höjd. Typträd kan härigenom beräknas som ligger till grund för fördelningen över det aktuella beståndet. Antalet typträd som systemet tillåter har angetts till 100 st per trädslag och provyta. Provytan som trädfördelningen beräknas för är 300 m<sup>2</sup> och för varje bestånd beräknas en (1) sådan provyta. Höjdkorrekturen som används för att korrigera trädhöjd för provytan efter beståndsdata, för att minska risken att simulera felaktiga data, är 0,5. Att höjdkorrekturen är 0,5 innebär att framräknad höjd genom en funktion och uppmätt höjd som är skattad av inventerare för beståndet får samma viktning. Om då funktionen beräknar trädhöjden till 21 meter och skattad beståndshöjd anger 20 meter blir således höjden medelvärdet 20,5 meter.

#### 3.4.1 Antaganden inför analyser

För analyserna har vissa antaganden gjorts i enlighet med Samuelsson (1976) och Amacher et al. (2009) för att underlätta beräkningar och arbetet med analyserna. Virkespriser och kostnader kopplade till skogsskötsel har antagits vara konstanta. Framtida räntor antas vara konstanta. Tillväxten inom bestånden antas vara kända. Marknaden antas även vara perfekt. Antagande görs även att skogen sköts på samma sätt under hela perioden, det vill säga att nya skogsbruksmetoder inte tar över eller utvecklas. Skogspolitiken antas inte heller förändras under analysperioderna. Sammantaget kommer mest troligt alla antaganden variera under analysperiodens 100 år, vilket egentligen inte spelar så stor roll. Viktigt är att båda de utförda analyserna, optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk*, ges lika förutsättningar.

### 3.5 TPG-inställningar

*Treatment Program Generator* (TPG) är en funktion i Heureka PlanVis där en mängd olika grundinställningar styr vilka olika Skogsskötselalternativ som genereras. I TPG:n styr en användare skogsskötselmetoder mycket ingående och andra variabler som påverkar utfallet av skogsskötselalternativ. Inställningarna är uppdelade efter kontrollkategorier vilka innehåller en mängd underkategorier med olika inställningar inom samma tema såsom klimatmodell, kostnader och intäkter och skötselmetod. Dessa kontrollkategorier kopplas därefter ihop med *domäner* som innehåller de bestånd som användaren vill sköta efter de inställningar den specifika kontrollkategorin innehåller. Utöver kontrollkategorierna kopplas även *domänerna* ihop med *domäninställningar* vilka styr över hur naturhänsynen sköts och andel av beståndet som sätts av som hänsyn. När skötselinställningarna från kontrollkategorier kopplats till rätt domän kan beräkningsprocessen sättas igång vilken genererar ett förvalt antal



skogsskötselalternativ per bestånd. Genererade skötselförslag kan viktas i ett senare steg mot varandra i optimeringen efter uppställda restriktioner och mål för att generera det optimala skogsskötselalternativet inte endast per behandlingsenhet utan för trakten som helhet. Själva processen med att beräkna skötselalternativen utefter grundinställningarna är ofta ett stort beräkningsjobb för Heureka PlanVis som kräver mycket processorkraft som varierar efter hur stora beräkningsproblemen är. För Heureka RegVis produceras endast ett skogsskötselalternativ efter inställningar som användaren valt, vilket är en betydligt mindre krävande beräkningsprocess och tar således en bråkdel av tiden PlanVis analyserna tar att genomföra.

### 3.5.1 Domänindelning

Indelning av de klustrade bestånden till olika skötseldomäner har anpassats för de olika delar av landet som analysområdena representerar. Domänerna är uppdelade efter *frivilliga avsättningar* och *övriga bestånd* förutom i Västerbottens län som även kompletterats med en *Pinus Contorta*-domän då norra delarna av Sverige är lämpligt för trädslaget. De tre analysområdena har liknande skötselkategorier för de olika domänerna med skillnader för hur stor del av arealen som är avsatt som frivilliga avsättningar. Domäner som innehåller frivilliga avsättningar anpassas efter respektive län då avsatt hänsyn varierar i arealandel mellan olika landsdelar. De kluster som ska sättas av som frivillig avsättning har handplockats för att ingå i domänen *frivilliga avsättningar*. Kluster har valts ut för att överensstämja så väl som möjligt med verkliga avsättnings egenskaper och storlek vilka har hämtats från skogsstyrelsen (Stål et al., 2012) med stöd av *SKA 15* (Claesson et al., 2015). Förutom att anpassa frivilliga avsättningar efter område har för Västerbottens län enheter med bra förutsättningar kopplats till en *Pinus Contorta*-domän som motsvarar 5% av arealen produktiv skogsmark enskilda skogsägare besitter. För denna domän styrs skötseln genom att bestånden föryngras med *Pinus Contorta* efter avverkning och utan gödsling.

### 3.5.2 Domäninställningar

*Domäninställningarna* styr hur avsättningar vid exempelvis föryngringsavverkningar kommer att behandlas och hur stora andelar av denna areal som sätts av. Naturvård i samband med föryngringsavverkningar lämnas i överensstämmelse med den faktiska procenten som avsätts per landsdel enligt Stål et al. (2012). I rapporten delas enskilda markägare upp i landsdelar efter hur stor arealandel som lämnas vid föryngringsavverkning (norra Norrland, södra Norrland, Svealand och Götaland), vilket för denna studie antas ge en tillräckligt hög detaljeringsgrad.

### 3.5.3 Kontrollkategorier

Övergripande *kontrollkategorier* innehåller en mängd olika underkategorier som styr de processer och skogsskötselmetoder som bedrivs för valda skötselenheter. Med fördel används olika *kontrollkategorier* för olika typer av målsättning med analysområdet och kopplas till domäner som kan ha flera olika *kontrollkategorier* kopplade till sig.

### *Klimatmodell (Climate model)*

Klimatscenariot RCP 4,5 (I Heureka kallat MPI 4,5) användes för att räkna med global uppvärmningseffekt och andra abiotiska klimateffekter så som förändring av nederbörd och variation av årstider vilka kommer att påverka Sveriges skogar på olika sätt (SMHI, 2019). RCP 4,5 innebär att utsläppen kommer bli något högre för att sedan minska i omfattning (IPCC, 2013). Klimatmodellen är anpassad till Heureka genom att skatta tillväxteffekten med den processbaserade tillväxtmodellen BIOMASS som i nästa steg används för att justera Heurekas empiriskt baserade tillväxtfunktioner (Eriksson et al., 2015).

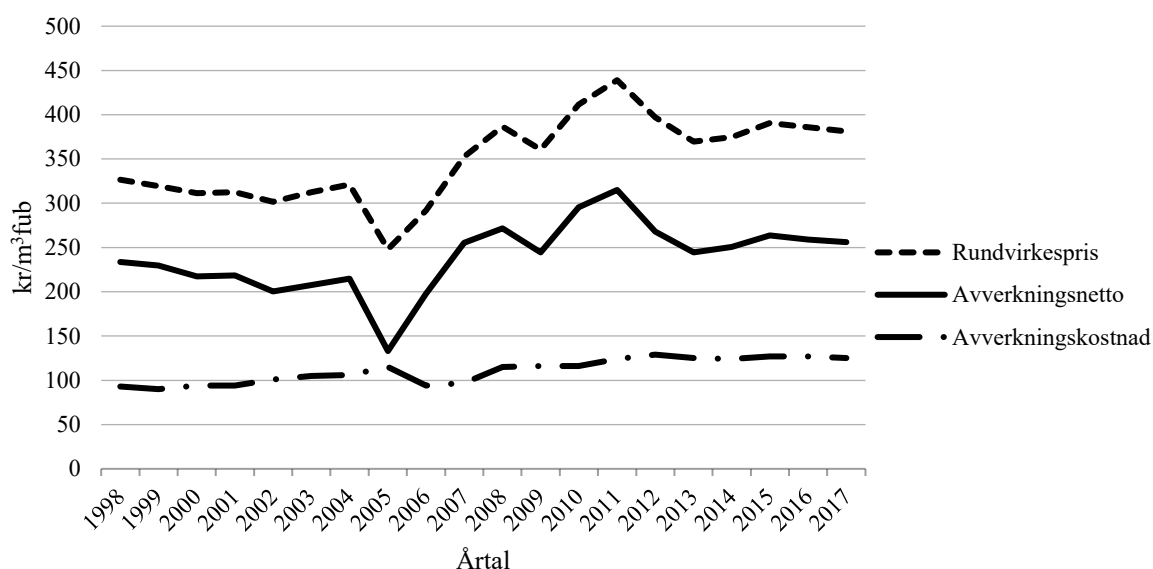
### *Skötselmodell (Treatment Model)*

Inställningen max relativ ålder justeras från 0,9 till 1 för att gallring ska kunna utföras fram till lägsta ålder för tillåten föryngringsavverkning (LÅF). Gallring ges fortsatt möjlighet att utföras upp till 25 meters höjd vilket är oförändrat ifrån grundinställningarna. Högsta beståndshöjd för första gallring ställs upp till 22 m, det ger ökad frihet för skötselprogramgeneratoren att hitta de lönsammaste alternativen utan att regleras av tvingande åtgärder. Gallring har, för att minska beräkningsproblemet, valts att tvingas fram minst en gång under omloppstiden om beståndsmedelhöjden är under 22m då det visats generera ett högre nuvärde efter en mängd testkörningar av indata. För att ge så hög tillväxt som möjligt tillika ett högre nuvärde används även uteslutande förädlade plantor i beräkningarna. Vidare har gödsling använts för att öka tillväxten i de fall åtgärden är lämplig. Gödsling kommer att tillåtas fritt efter rimliga avvägningar, exempelvis finns restriktion för att inte gödsla vid hög bonitet då effekterna av gödslingen avtar med högre bonitet och ger en onödig risk för näringsläckage (Saarsalmi & Mälkönen, 2001; Ring, 2007). Hög bonitet har bedömts vara bestånd med en bonitet över 12 m<sup>3</sup>sk per år. Gödslingsmängden var inställd till 150 kg/ha vid varje gödslingstillfälle och ett gödslingsintervall på minst 10 år användes (två perioder), vilket stöds i tidigare forskning (Kukkola & Saramäki, 1983). Förutom tillväxthöjande åtgärder genomförs även inställningar för naturvårdande åtgärder. Efter föryngringsavverkning lämnas naturvärdesträd (10 st/ha) och högstubbar (3 st/ha), vilket krävs för att vara PEFC-certifierad (PEFC, 2019). Valet att lämna naturhänsyn vid föryngringsavverkningar är inte för att skogsägare gör valet själva utan för att maskinförare, om de är certifierade, har det kravet på sig (PEFC, 2019).

### *Kostnad och inkomst (Cost and Revenue)*

Kostnader för skogsskötsel och prislista för skogsråvara lämnas oförändrade då dessa fluktuerar över tid och är svåra att beräkna långt fram i tid. Både virkespris och avverkningskostnader har visat sig samvariera i relativt hög utsträckning vilket enligt figur 4 har lämnat avverkningsnettot relativt oförändrat om man bortser från variationen mellan enskilda år. För att ta reda på fluktuationer kring avverkningsnettot över tid så har en period om 19 år undersökts med hjälp av data från skogsstyrelsens statistikdatabas (Skogsstyrelsen, 2019). För analyser har, på grund av relativt oförändrat avverkningsnetto, *default* prislista för virke och "default" kostnader för skötselåtgärder använts i både Heureka RegVis och Heureka PlanVis. Kostnadsberäkningar för avverkningskostnader från Skogforsk användes för samtliga

analyser (Brunberg, 1995; 1997; 2004). Prislistan som använts refereras i Heureka till Mellanskog år 2013, vilket bör ge en rimlig prislista för genomförda analyser då det mest troligt är samma prismiljö som SKA 15 inställningarna utarbetats under.



Figur 4. Relationen mellan rundvirkespris och avverkningskostnad för hela Sverige över en 19 års period, då rundvirkespris är medelvärde av volymvägt sågtimmerpris och massavedspris för perioden. Avverkningskostnad innefattar kostnader för skördare, skotare och övriga tillägg som hör till drivningen  
*Figure 4. Relationship between round wood and the cost of harvest for Sweden in a 19 year period of time where the cost of round wood is the mean value of the volume weight price of saw timber and price of pulpwood. The cost of harvest includes cost of harvester, forwarder and other expenses that is associated with logging*

### Skötselprogramgenerator (Treatment Program Generator (TPG))

I underkategorin TPG genomförs inställningar som får stor effekt på vilka typer av skötselprogram som genereras. Här uttrycker användaren vilken inriktning och policy som ska gälla för skötseln av skogsmarken.

Inställningarna för gödsling har behandlats mer ingående under avsnittet *skötselmodell*. I TPG väljs övergripande policy in som bygger vidare på tidigare inställningar. För gödsling har två olika gödslingsstrategier kopplats till huvuddomänen förutom ett icke gödslingsalternativ. Olika tillämpningar på gödslingspolicy har prövats för att titta på vilka möjliga effekter det ger på avverkningsmöjlighet och nuvärde. I Heureka PlanVis finns möjlighet att använda olika gödslingspolicies som bestämmer när gödsling ska ske, dessa har placerats i olika kontrollkategorier vilka kopplats till samma *domän* för att olika policy ska kunna användas till olika skötselheter inom samma domän. Två olika gödselämnen har även testats, ammoniumnitrat (AN) och UREA, vilket resulterade i betydligt bättre resultat för ammoniumnitrat som därefter valdes som gödselämne i analyserna.

Testanalyser visar på att alternativet gödsling innan varje virkesuttag givit högst nuvärde, men för att ge ytterligare alternativ för bestånd där gödsling i tidig gallringsskog inte lönar sig har

alternativet gödsling innan sista gallringen och innan slutavverkning använts för att uppnå en större valfrihet vid optimering av enskilda beräkningsenheter och området i stort. Fler gödslingsalternativ kopplat till samma domän har provats, vilket inte påverkat nuvärdet alls varpå två gödslingsalternativ använts för att minska beräkningsprocessens omfattning. För att fortsätta ge PlanVis större valmöjligheter i beräkningar så har hårda restriktioner lättats något för gallringar. Det maximala tillåtna antalet gallringar utökas till fyra, taket för antalet gallringar kommer då mest troligt vara beståndsålder och höjd. Både gallringsalternativ och röjningsalternativ går att i TPG:n ställa in för att genomföras vad som än händer, det vill säga en tvingande åtgärd. Efter ett antal testkörningar gav resultatet att röjning bör vara valbart efter situation men att tvingande gallring med möjlighet att förskjuta dessa i tid är nuvärdesoptimalt. Tidsförskjutningen för gallring är inställt till fyra år från ursprungliga två. Tidsförskjutning för föryngringsavverkning från lägsta ålder för föryngringsavverkning (LÅF) har valts till åtta år från tidigare sex. Försök att ge friare tyglar för längre tidsförskjutningar resulterade i sämre nuvärde. Friare tyglar gäller däremot inte för slutavverkning av bestånd som befinner sig under LÅF. För att generera realistiska skogsskötselalternativ ges inte PlanVis möjlighet att räkna fram skogsskötselalternativ som bryter mot lägsta ålder för föryngringsavverkning.

Uttag av biobränsle har möjliggjorts som åtgärd för de fall som är möjliga rent ekonomiskt, i dessa analyser Örebro län och Kronobergs län i södra Sverige. Västerbottens län har över lag mindre mängd biobränsleuttag per hektar och även långa transportsträckor från skog till mottagare vilket gör att detta alternativ ej valts som möjlighet.

### **3.5.4 Generate Treatment Programs (Strategic TPG):**

När strategiska skogsskötselalternativ ska genereras ställs de sista inställningarna in för att ge övergripande förutsättningar för skötselprogrammen. Inställningarna styr inte vilken skötsel som genereras för skötselenheterna utan grundläggande beräkningsförutsättningar som påverkar skogsskötselalternativens antal, beräkning av nuvärde och vilka resultatvariabler som genereras av programmet. De övergripande inställningar som använts är antalet tillåtna skötselprogram, ränteförändringar och beräkning av periodens mittpunkt. Antalet tillåtna skötselprogram styr i vilken omfattning optimering av området kan genomföras. För att ge stora möjligheter för detta tillåts en större mängd skogsskötselalternativ: 30 till skillnad från grundinställningens 20. För att ta reda på hur stor påverkan som räntekravet har på skötselintensiteten och val av skötselmetoder för behandlingsenheterna har två olika räntor nyttjats i beräkningarna. Denna känslighetsanalys genomförs även för att kontrollera så enskilda skogsägares diskonteringsränta inte påverkar skillnader i nuvärdet. De räntor som använts är 2 och 4%. För beräkningar i Heureka RegVis och PlanVis används periodens mittpunkt. Mittpunkten interpoleras från ytterpunktsvärden och ett medelvärde genereras. Beräkningarna genomförs för hundra år vilket med beräkning av periodens mittpunkt innebär att 21 perioder beräknas.

### 3.6 Optimering

Optimeringsfunktionen i Heureka PlanVis har inte använts för någon typ av restriktion utan enbart syftat till att maximera nuvärdet av skötseln som helhet. Det resultat som presenteras har alltså inte på något sätt genomgått några restriktioner i exempelvis avverkningsnivå mellan perioder. Det angreppssätt som nu använts får ofta som konsekvens att stora skillnader i avverkningsnivåer uppstår mellan år/perioder. De stora fluktuationerna för åtgärder mellan beräkningsperioder är ur ett teoretiskt perspektiv inte något problem då syftet är just maximering av nuvärdet.

## 4. Resultat

Resultat presenteras för respektive län för att uppnå tillräcklig detaljnivå och uppvisa de skillnader som funnits. Skillnader mellan optimerande och *dagens skogsbruk* visualiseras med hjälp av tabeller som visar de viktigaste resultat. Procentuell skillnad används för att enkelt och snabbt visa på skillnader mellan analysalternativen.

### 4.1 Västerbottens län

Det finns en skillnad mellan *dagens skogsbruk* (Ref.) och ett optimerat skogsbruk (Opt.) oavsett vilken diskonteringsränta som tas i beaktning (tabell 4). Störst skillnad mellan de två skogsbruksmetoderna kan ses vid en 2 % diskonteringsränta. Vidare kan man även utläsa att det inte finns några större skillnader i varken avverkningsnivåer eller nettotillväxten vid en räntehöjning då medelvärdena för dessa två variabler är relativt lika mellan räntenivåerna. Däremot minskar skogens medelålder och röjd areal vid högre diskonteringsränta vid ett optimerande skogsbruk. För *dagens skogsbruk* finns det inga större skillnader mellan räntenivåerna.

Optimering av skogsbruk genererar ett högre nuvärde, högre avverkningsnivåer, större virkesförråd, större gödslingsareal samt att röjning sker i mindre utsträckning jämfört med *dagens skogsbruk*. Störst skillnad mellan ett optimerat skogsbruk och *dagens skogsbruk* kan ses för gödslad areal, där det sker en markant ökning vid en optimering. Även nuvärde och virkesförråd uppvisar betydande skillnader mellan analysalternativen. Intressant är även att medelåldern inte skiljer sig nämnvärt över hela beräkningsperioden trots att virkesförrådet ökar.

För att undersöka hur stor effekt olika produktionshöjande åtgärder har på nuvärdet för optimerande skogsbruk, har ytterligare beräkningar gjorts. Resultatet för dessa visar att användandet av gödsling ökar nuvärdet med närmare sju procent vid 2 % diskonteringsränta (se tabell 11). Även *Pinus Contorta* (på 5 procent av arealen) bidrar till en ökning av nuvärdet med cirka 1,5 % vid 2 % diskonteringsränta. Om uteslutande förädlade plantor används vid förnygring av skogsbestånden genereras ett nuvärde som är cirka tre procent högre än om de hade varit oförädlade. Förutom de tillväxthöjande åtgärdernas påverkan på nuvärdet fås de största vinsterna genom att optimera skogsskötselåtgärder och avverkningar till rätt tidpunkt.

**Tabell 4. Skillnader mellan optimerande skogsbruk (Opt.) och dagens skogsbruk (Ref.) i Västerbottens län när variablerna är uttryckta som ett medelvärde per år över hela analyshorisonten**

*Table 4. Differences between optimized forest management and business as usual in Västerbottens county where the results are expressed as a mean value*

	2% diskonteringsränta			4% diskonteringsränta		
	Opt.	Ref.	Skillnad (%)	Opt.	Ref.	Skillnad (%)
Nuvärde/ha (sek)	27 750	18 480	50	11 069	9 070	22
Nettotillväxt/ha (m <sup>3</sup> sk)	4,6	3,9	18	4,6	3,9	18
Avverkning (m <sup>3</sup> sk)	5 761 353	4 824 555	19	5 713 926	4 896 333	17
Virkesförråd (m <sup>3</sup> sk)	195 370 170	136 739 964	43	171 459 610	135 488 434	27
Medelålder (år)	59,5	60,4	-1	52,8	60,1	-12
Röjd areal (ha)	7 582	9 254	-18	7 309	9 504	-23
Gödslad areal (ha)	31 351	7 255	332	24 648	6 944	255

Not: Opt: Optimerande skogsskötsel, Ref: Referens till optimering i form av dagens skogsbruk. Medelvärdet som visas är för hela analysperioden (100 år)

*Note: Opt: optimized forest management, Ref: business as usual. The mean value represents the mean value of the whole period of time for the analysis (100 years)*

Avverkningsnivåernas fördelning över tid kan skilja sig åt mellan optimering och *dagens skogsbruk* vilket redovisas i tabell 5. Noterbart är att de första perioderna har bedömts vara viktigast att redovisa med kortare tidsintervall. Årsintervallen i tabellen är alltså olika och går inte direkt att exempelvis summera ihop utan att ta hänsyn till antal år. Volymskillnader i början av beräkningsperioden för virkesförrådet beror av tidsförskjutning på 2,5 år mellan optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk*. Den tidsförskjutningen hänger sedan med under hela analysperioden, vilket bidrar till en upplevd större skillnad än vad som faktiskt är fallet. Stora avverkningsnivåer uppvisas för optimerande skogsbruk, ganska väntat, i första perioden. De största skillnaderna för variablerna mellan tidsintervallen består i att optimerande skogsbruk inte har några krav på jämnhet i avverkning vilket gör att avverkningsnivåerna varierar kraftigt mellan perioderna. Genom att studera resultaten får man upplevelsen att skog som ger en lägre förräntning och lägre tillväxt avverkas tidigt och ersätts med en ny generation i optimerande skogsbruket. I optimeringen av skogsbruket verkar skogsskötselåtgärderna bli bättre tidsmässigt anpassade och bättre tillvarata skogsmarkens produktionsförmåga.

**Tabell 5. Årsvisa medelvärden inom specifika tidsramar visar tidsmässiga skillnader för beskrivande variabler mellan optimerande skogsbruk (Opt.) och dagens skogsbruk (Ref.) för Västerbottens län**  
*Table 5. Yearly mean values for specific time frames showing the timely differences for forest variables comparing optimized forest management (Opt.) and business as usual (Ref.) for Västerbottens county*

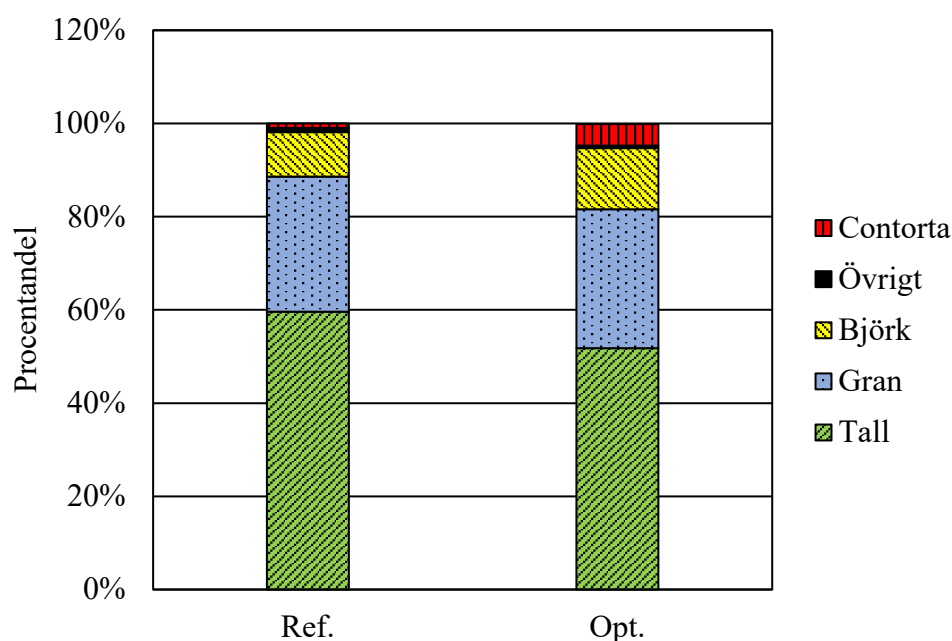
År	Virkesförråd (m <sup>3</sup> sk)		Gallrad volym (m <sup>3</sup> fub)		Slutavverkad volym (m <sup>3</sup> fub)		Medelålder (år)		Tillväxt (m <sup>3</sup> sk/ha)	
	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.
<b>0-5</b>	137 510'	128 616'	362'	645'	4 525'	2 485'	68,2	64,4	3,7	3,7
<b>5-10</b>	145 569'	133 184'	246'	516'	793'	2 377'	57,5	60,7	4,1	3,8
<b>10-20</b>	169 924'	136 170'	1 311'	889'	934'	2 607'	62,1	58,1	4,5	3,7
<b>20-40</b>	213 487'	135 180'	1 480'	1 155'	1 711'	2 312'	67,8	57,4	4,9	3,6
<b>40-60</b>	231 484'	139 185'	1 158'	1 132'	5 150'	2 802'	61,3	61,2	4,7	3,9
<b>60-80</b>	191 927'	137 650'	1 013'	1 114'	4 212'	2 993'	52,4	60,2	4,2	3,9
<b>80-100</b>	196 671'	140 023'	1 162'	1 221'	4 356'	3 025'	52,0	62,0	5,2	4,3

Not: Analyserna är gjorda med 2% diskonteringsränta.

*Note: The analysis is made with a discounting rate of 2 percent.*

Trädslagsfördelningen i Västerbottens län blir något förändrad när optimeringen av skogsskötseln genomförs jämfört från *dagens skogsbruk* (tabell 4). Volymandelen gran är oförändrad och ökningen av *Pinus Contorta* är på bekostnad av tallskog när skogsbruket optimeras. Björkandelen ökar med optimering av skogsbruket, däremot minskar kategorin *övrigt* något jämfört med *dagens skogsbruk*. Trädandelen är beräknad per trädslag vilket presenteras som ett medelvärde för hela beräkningsperioden. Värt att poängtera är att virkesförrådet enligt tabell 4 är betydligt högre för optimerande skogsbruk med båda räntesatserna. *Övriga trädslag* innehåller en mängd olika trädslag, mest lövträd, som slagits ihop till en kategori då de i finns i väldigt liten omfattning för att presenteras separat i resultatet.





Figur 5. Trädslagsandel för dagens skogsbruk (Ref.) och optimerat skogsbruk (Opt.) beräknat som medelvärde av trädvolym, uppdelat i de vanligaste trädarterna för området, under hela beräkningsperioden (100 år) i Västerbottens län

*Figure 5. The proportion of tree species for business as usual (Ref.) and optimized forest management (Opt.) calculated as the mean volume of tree species displaying only the common tree species in area, during the whole period of time (100 years) in Västerbotten county*

## 4.2 Örebro län

För Örebro län finns en skillnad mellan ett optimerat skogsbruk och *dagens skogsbruk* oavsett vilken räntesats som tas i beräkning (se tabell 6). Störst skillnad mellan analysalternativen kan ses vid en 2 % diskonteringsränta. Resultatet i tabell 6 visar även att en räntehöjning inte påverkar resultatet nämnvärt för det optimerade skogsbruket när man tittar på avverkningsnivå, nettotillväxt och röjd areal. Däremot visar resultatet att en räntehöjning minskar nuvärdet, medelålder och virkesförråd. För *dagens skogsbruk* finns det inga större skillnader mellan räntenivåerna.

Optimerande skogsbruk ger högre nuvärde, högre avverkningsnivåer, större virkesförråd samt att röjning sker i betydligt lägre utsträckning i jämförelse med *dagens skogsbruk* (tabell 6). Vid ett optimerat skogsbruk gödslas skogsmark omfattande medan det inte tillämpas alls i simuleringen för *dagens skogsbruk* vilket är den största skillnaden mellan de två analysalternativen. Medelåldern är högre för optimerande skogsbruk vilket även går i linje med att virkesförrådet ökar markant i optimering av skogsbruket jämfört med *dagens skogsbruk*.

Ytterligare beräkningar har gjorts för att kontrollera för hur stora effekter som uppnås vid produktionshöjande åtgärder. Resultatet för dessa visar att användandet av gödsling ökar

nuvärdet med knappt fyra procent vid 2 % diskonteringsränta (se tabell 11). Förutom de tillväxthöjande åtgärdernas påverkan på nuvärdet, vilket optimeringen riktar in sig mot att maximera, fås även stora värden genom att lyckas tidsmässigt anpassa rätt skötselåtgärder och avverkningar vid rätt tidpunkt.

**Tabell 6. Skillnader mellan optimerande skogsbruk (Opt.) och dagens skogsbruk (Ref.) i Örebro län när variablerna är uttryckta som ett medelvärde per år över hela analysperioden.**

*Table 6. Differences between optimized forest management and business as usual in Örebro county where the results are expressed as a mean value*

	2 % diskonteringsränta			4 % diskonteringsränta		
	Opt.	Ref.	Skillnad (%)	Opt.	Ref.	Skillnad (%)
Nuvärde/ha (sek)	79 487	68 827	15	36 478	34 255	6
Nettotillväxt/ha (m <sup>3</sup> sk)	9,0	7,8	15	8,8	7,9	11
Avverkning (m <sup>3</sup> sk)	2 299 583	1 972 744	17	2 262 051	1 937 352	17
Virkesförråd (m <sup>3</sup> sk)	60 918 797	40 611 924	50	55 865 468	41 793 930	34
Medelålder (år)	47,1	44,6	6	43,8	44,3	-1
Röjd areal (ha)	1 676	3 180	-47	1 725	3 010	-43
Gödslad areal (ha)	7 625	-	100	5 065	-	100

Not: Opt: Optimerande skogsskötsel, Ref: Referens till optimering i form av dagens skogsbruk. Medelvärdet som visas är för hela analysperioden (100 år)

*Note: Opt: optimized forest management, Ref: business as usual. The mean value represents the mean value of the whole period of time for the analysis (100 years)*

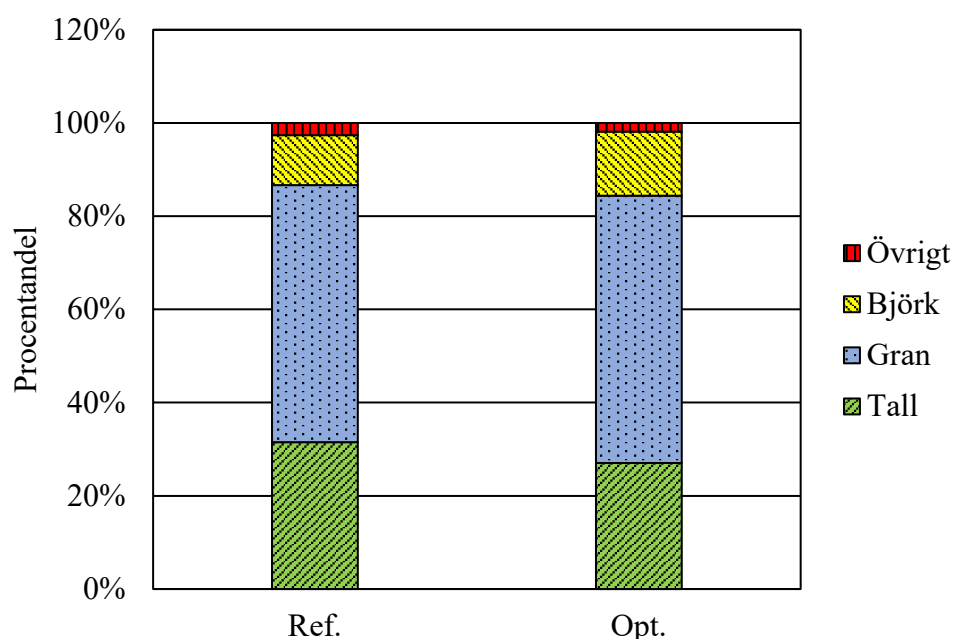
För att visa på eventuella eftersläp i avverkningsnivåer redovisas en tidshorisont med relevanta variabler i tabell 7. De första perioderna har bedömts vara viktigast att redovisa med kortare tidsintervall. Årsintervallen i tabellen är alltså olika och går inte direkt att summera ihop utan att ta hänsyn till antal år som representeras. Volymskillnader i början av beräkningsperioden för virkesförrådet beror av tidsförskjutning på 2,5 år mellan optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk*. Den tidsförskjutningen hänger sedan med under hela analysperioden, vilket bidrar till en upplevd större skillnad än vad som faktiskt är fallet. Stora avverkningsnivåer uppvisas för optimerande skogsbruk i första perioden. Resultatet i tabell 7 visar även att vid ett optimerat skogsbruk avverkas betydligt mindre nivåer mellan åren 5–40, detta i jämförelse med *dagens skogsbruk*. Virkesförrådet ökar under samma tidsperiod kraftigt till följd av de modesta avverkningarna vid ett optimerat skogsbruk.

**Tabell 7. Årsvisa medelvärden inom specifika tidsramar visar tidsmässiga skillnader av beskrivande variabler mellan optimerande skogsbruk (Opt.) och dagens skogsbruk (Ref.) för Örebro län**  
*Table 7. Yearly mean values for specific time frames showing the timely differences for forest variables comparing optimized forest management (Opt.) and business as usual (Ref.) for Örebro county*

År	Virkesförråd (m <sup>3</sup> sk)		Gallrad volym (m <sup>3</sup> fub)		Slutavverkad volym (m <sup>3</sup> fub)		Medelålder (år)		Tillväxt (m <sup>3</sup> sk)	
	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.
<b>0-5</b>	43 946'	39 820'	46'	370'	2 830'	1 694'	53,5	50,4	6,7	6,7
<b>5-10</b>	36 812'	41 858'	265'	355'	641'	1 035'	37,2	49,6	7,2	7,3
<b>10-20</b>	41 001'	41 913'	493'	432'	582'	954'	38	46,7	7,7	7,4
<b>20-40</b>	60 289'	41 906'	594'	467'	524'	1 073'	47,5	45,8	10,2	7,5
<b>40-60</b>	74 417'	40 829'	689'	507'	1 398'	1 060'	52,7	44,2	9,6	7,8
<b>60-80</b>	66 401'	41 398'	396'	516'	1 478'	1 294'	47,1	42,8	8,4	8,4
<b>80-100</b>	67 040'	37 802'	453'	541'	2 462'	1 260'	45,6	40,2	9,5	8,3

Not: Analyserna är gjorda med 2% diskonteringsränta

*Note: The analysis is made with a discounting rate of 2 percent*



**Figur 6. Trädslagsandel för dagens skogsbruk (Ref.) och optimerat skogsbruk (Opt.) beräknat som medelvärde av trädvolym, uppdelat i de vanligaste trädarterna för området, under hela beräkningsperioden (100 år) i Örebro län**

*Figure 6. The proportion of tree species for business as usual (Ref.) and optimized forest management (Opt.) calculated as the mean volume of tree species displaying only the common tree species in area, during the whole period of time (100 years) in Örebro county*

Trädslagsfördelningen för Örebro förändras när optimeringen av skogsskötseln genomförs till skillnad från *dagens skogsbruk* (figur 6). Volymandelen gran ökar något till nackdel för tall när skogsbruket optimeras. Trädandelen är beräknad per trädslag vilket presenteras som ett medelvärde för hela beräkningsperioden. Värt att poängtera är att virkesförrådet enligt tabell 6

blir betydligt högre för optimerande skogsbruk, båda räntesatserna. För ädellövträd är volymandelen i storleksordningen tiondelar procent och uppvisar något mindre volym för optimerande skogsbruk än för *dagens skogsbruk*. Övriga trädslag innehåller en mängd olika trädslag, mest lövträd, som inte slagits ihop till en kategori då de i beräkningarna finns i väldigt liten omfattning för att presenteras och beräknas separat.

### 4.3 Kronobergs län

Resultaten i tabell 8 visar att det finns en varierande skillnad för utvalda variabler mellan optimerande och nuvarande skogsskötsel i Kronobergs län. Skillnader mellan analysalternativen uppvisas för båda räntesatserna, dock uppvisas störst skillnader vid 2 % diskonteringsränta. Ränteförändringen påverkar inte avverkningsnivå och tillväxt särskilt mycket för optimerande skogsbruk. Däremot påverkar räntehöjningen desto mer när det kommer till nuvärdet, medelåldern, och gödslad areal för optimerat skogsbruk då medelvärdet för dessa minskar. Skillnader uppvisas även för *dagens skogsbruk* vid en ränteförändring, främst är det virkesförrådet som minskar från 2 till 4 % diskonteringsränta.

Tabell 8 visar även att ett optimerat skogsbruk genererar ett högre nuvärde vid en 2 % diskonteringsränta medan nuvärdet blir lägre än *dagens skogsbruk* vid en 4 % diskonteringsränta. Vidare ger ett optimerande skogsbruk en högre nettotillväxt, högre avverkningsnivå, betydligt större virkesförråd och högre medelålder. Røjning sker även i betydligt högre utsträckning vid *dagens skogsbruk* jämfört med optimerande skogsbruk. Dessutom nyttjar det optimerande skogsbruket gödsling i relativt stor utsträckning medan simuleringen av *dagens skogsbruk* inte gödslar alls.

För att kontrollera för hur stora effekter som uppnås vid produktionshöjande åtgärder gjordes ytterligare beräkningar inriktade mot detta. Användandet av gödsling ökar nuvärdet med två procent vid 2 % diskonteringsränta (se tabell 11). Förutom de tillväxthöjande åtgärdernas påverkan på nuvärdet, vilket optimeringen riktar in sig mot att maximera, fås de största värdena genom att lyckas tidsmässigt anpassa rätt skötselåtgärder och avverkningar vid rätt tidpunkt.

**Tabell 8. Skillnader mellan optimerande skogsbruk (Opt.) och dagens skogsbruk (Opt.) i Kronobergs län när variablerna är uttryckta som ett medelvärde per år över hela analysperioden.**

Table 8. Differences between optimized forest management and business as usual in Kronobergs county where the results are expressed as a mean value

	2% diskonteringsränta			4% diskonteringsränta		
	Opt.	Ref.	Skillnad (%)	Opt.	Ref.	Skillnad (%)
Nuvärde/ha (sek)	92 777	83 763	11	37 593	38 300	-2
Nettotillväxt/ha (m <sup>3</sup> sk)	10,7	9,7	10	10,6	9,7	9
Avverkning (m <sup>3</sup> sk)	4 908 295	4 257 930	15	4 883 834	4 429 890	10
Virkesförråd (m <sup>3</sup> sk)	137 965 969	96 424 192	43	131 659 579	89 852 109	47
Medelålder (år)	46,1	38,5	20	43,8	37,3	17
Röjd areal (ha)	1 248	6 093	-80	1397	6 576	-79
Gödslad areal (ha)	9 568	-	100	6502	-	100

Not: Opt: Optimerande skogsskötsel, Ref: Referens till optimering i form av dagens skogsbruk. Medelvärdet som visas är för hela analysperioden (100 år)

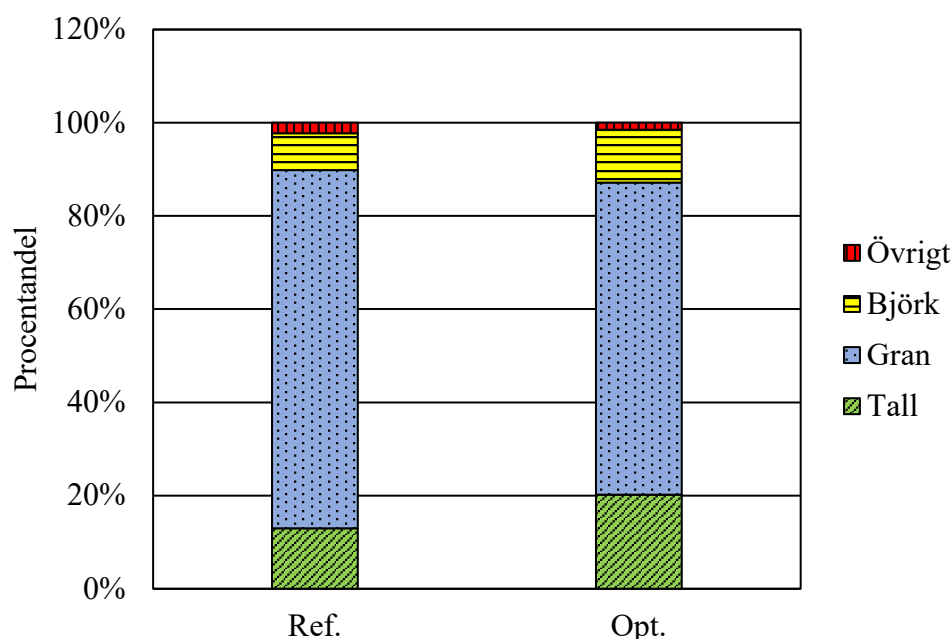
*Note: Opt: optimized forest management, Ref: business as usual. The mean value represents the mean value of the whole period of time for the analysis (100 years)*

För att visa på eventuella eftersläp i avverkningsnivåer redovisas en tidshorisont med relevanta variabler i tabell 9. De första perioderna har bedömts vara viktigast att redovisa med kortare tidsintervall. Årsintervallen i tabellen är alltså olika och går inte direkt att summera ihop utan att ta hänsyn till antal år som representeras. Volymskillnader i början av räkningsperioden för virkesförrådet beror av tidsförskjutning på 2,5år mellan optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk*. Den tidsförskjutningen hänger sedan med under hela analysperioden, vilket bidrar till en upplevd större skillnad än vad som faktiskt är fallet. Stora avverkningsnivåer uppvisas för optimerande skogsbruk i första perioden. Resultatet i tabell 9 visar även att vid ett optimerat skogsbruk avverkas betydligt mindre nivåer mellan åren 5–20, detta i jämförelse med *dagens skogsbruk*. Virkesförrådet ökar under samma tidsperiod kraftigt till följd av de modesta avverkningarna vid ett optimerat skogsbruk. Vidare visar tabell 9 att det finns en skillnad i medelåldern över tid, då medelåldern är märkbart högre vid ett optimerat skogsbruk än vid en simulering av *dagens skogsbruk*.

**Tabell 9. Årsvisa medelvärden inom specifika tidsramar visar tidsmässiga skillnader av beskrivande variabler mellan optimerande skogsbruk (Opt.) och dagens skogsbruk (Ref.) för Kronobergs län**  
*Table 9. Yearly mean values for specific time frames showing the timely differences for forest variables comparing optimized forest management (Opt.) and business as usual (Ref.) for Kronobergs county*

År	Virkesförråd (1000-m <sup>3</sup> sk)		Gallrad volym (1000-m <sup>3</sup> fub)		Slutavverkad volym (1000- m <sup>3</sup> fub)		Medelålder (år)		Tillväxt (m <sup>3</sup> sk)	
	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.	Opt.	Ref.
<b>0-5</b>	70 143	66 964	94	691	4 023	3 206	48,0	44,8	6,4	6,5
<b>5-10</b>	72 424	76 482	389	1 223	749	1 773	36,5	41,4	7,3	7,5
<b>10-20</b>	94 444	78 880	731	1 160	672	2 296	40,5	37,0	9,2	8,6
<b>20-40</b>	139 639	86 824	1 300	1 221	1 716	1 804	47,1	34,7	11,7	9,3
<b>40-60</b>	163 714	101 911	1 432	1 157	4 594	2 571	48,1	37,2	10,8	10,0
<b>60-80</b>	145 888	111 987	1 254	1 179	2 337	3 299	44,6	40,5	10,6	10,6
<b>80-100</b>	172 624	113 462	2 235	1 142	4 289	3 197	49,2	38,5	12,5	10,9

Not: Analyserna är gjorda med 2% diskonteringsränta  
*Note: The analysis is made with a discounting rate of 2 percent*



**Figur 7. Trädslagsandel för dagens skogsbruk (Ref.) och optimerat skogsbruk (Opt.) beräknat som medelvärde av trädvolym, uppdelat i de vanligaste trädarterna för området, under hela beräkningsperioden (100 år) i Kronobergs län**

*Figure 7. The proportion of tree species for business as usual (Ref.) and optimized forest management (Opt.) calculated as the mean volume of tree species displaying only the common tree species in area, during the whole period of time (100 years) in Kronobergs county*

Trädslagsfördelningen i figur 7 visar på en förändrad trädslagsblandning när optimeringen av skogsskötseln genomförs i jämförelse med *dagens skogsbruk*. Volymandelen gran minskar till fördel för tall och björk när skogsbruket optimeras. Trädandelen är beräknad per trädslag vilket

presenteras som ett medelvärde för hela beräkningsperioden. Värt att trycka på är att virkesförrådet enligt tabell 8 är betydligt högre för optimerande skogsbruk, båda räntesatserna. För ädellövträd är volymandelen i storleksordningen tiondelar promille och dubbelt så hög för *dagens skogsbruk*. Övriga trädslag innehåller en mängd olika trädslag, mest lövträd, som inte finns i tillräcklig mängd för att presenteras separat.

#### 4.4 Gödsling

De största skillnaderna mellan optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk* är användandet av gödsling vilket gäller för alla tre länen. För att kontrollera gödslingens omfattning redovisas gödslingsintensiteten i tabell 10. Värt att nämna för att få ett sammanhang är att 2,5 procent av arealen gödglas per år i optimeringsanalyserna av skogsbruket. Det skulle innebära att 477 000 hektar per år av den produktiva skogsmarken i Sverige gödglas. Dessa gödslingsmängder kan jämföras med 25 000 hektar skogsmark som gödglades år 2017 (Skogsstyrelsen, 2019). Frivilliga avsättningar och lämnade hänsynsarealer tas inte med i gödslingsberäkningarna. Beräkningen av gödslad areal är gjord med antagande om att 5 procent av den produktiva skogsmarken lämnas som frivilliga avsättningar och att lämnad hänsyn uppgår till 7,8 procent av arealen produktiv skogsmark (Claesson et al., 2015).

**Tabell 10. Gödsling med optimerat skogsbruk vid 2% diskonteringsränta, alla län**

*Table 10. Overview of the fertilization results for all countys optimized forest management with a discount rate of 2 percent*

	Västerbottens Län	Örebro Län	Kronobergs Län
Total areal (ha)	1 336 000	260 646	514 000
Gödslad areal/år (ha)	31 351	7 625	9 568
Andel gödslad areal/år (%)	2,3	2,9	1,9
Antal gödslade bestånd (st)	61	34	39
Andel gödslade bestånd (%)	55	47	39

Effekter av gödsling är begränsad till en mindre del av skillnaderna mellan optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk*. Enligt tabell 11 skiljer sig effekterna av gödsling mellan landsdelarna. Gödslingen medför inte alltför omfattande höjningar i nuvärde för en markägare, vilket resultatet i tabell 11 även visar på. Intressant är även att virkesförrådet i tabell 11 är oberoende av gödsling vid optimering av skogsbruket för privata skogsägare vilket förmodligen har sin grund i att den gödslade volymen snabbt blir tillvaratagen genom gallring eller slutavverkning. Inte heller trädslagsfördelningen skiljde mer än en halv procent, mellan gödslingsalternativ och utan gödslingsalternativ för simuleringarna av optimerande skogsbruk.

**Tabell 11. Procentuella vinster för gödsling i optimerande skogsbruk uppdelat på utvalda variabler inom respektive län vid 2 % diskonteringsränta**

*Table 11. Procentually displayed profits gained by fertilizing in the optimization of forest management divided into forest variables per county with a discount rate of 2 percent*

	<b>Västerbottens län</b>	<b>Örebro län</b>	<b>Kronobergs län</b>
Nuvärde (%)	7	3,5	2
Avverkad volym (%)	8	5	2
Tillväxt (%)	8	4	3
Virkesförråd (%)	0	0	0



## 5. Diskussion

Studien syftade till att undersöka skillnader i skogens virkesproduktion och skogstillstånd samt om skogsbruket förändras när skogsbruket optimeras ekonomiskt med högsta nuvärde som mål jämfört med *dagens skogsbruk* som simulerar en skogsskötsel som bedrivs idag för enskilda privata skogsägare. På grund av studiens omfattning har ett övervägande gjorts om att fokusera på bedömt huvudsakliga faktorer såsom produktion och tidsmässigt utförande av skogliga åtgärder som kan påverka skogsskötsel och skogstillståndet.

### 5.1 Metod

Heurekasystemet är ett kraftfullt beslutsstödsystem som innehåller empiriska beräkningsfunktioner vilka har hög tillförlitlighet. Heurekas applikationer är genom sin användbarhet för skogliga analyser allmänt vedertagen som forskningsverktyg och beslutstöd i Sverige (Wikström et al., 2011; Claesson et al., 2015). En begränsning med Heureka är att framskrivningar av skogen görs med en periodlängd på 5 år. Begränsningen med periodintervall skulle kunna vara en bidragande faktor till att de största skillnaderna som uppstår mellan optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk* återfinns i Västerbottens län i motsats till Kronobergs län. Någon undersökning på hur mycket periodintervallets längd påverkar resultatet i studien har inte genomförts för att kvantifiera begränsningen. Optimeringsverktyget PlanVis har även begränsningen att beräkningarna ofta tar väldigt lång tid att genomföra, när antalet beräkningsenheter (ytor eller bestånd) bli många. Detta bidrar till att antalet kontrollkategorier per domän begränsades. Många kontrollkategorier kopplade till samma domän ger mycket stora beräkningsproblem vilket gjorde att optimeringen av skogsbruket tvingades till vissa begränsningar. Exempelvis tilläts endast plantering som föryngringsmetod, vilket kombinerat med hög ränta kan påverka nuvärdet negativt.

För att minska risken för överoptimering som kan uppstå vid användande av små provytor som representerar åtgärdsenheter i analyser har ett övervägande gjorts om att gruppera provytedata till större kluster (Wilhelmsson, 1981). Denna metod tar inte helt bort risken för överoptimering, men riskerna minskar då klustren precis som verkliga bestånd innehåller viss variation. Klusteralgoritmerna är utprovade för att passa datamaterialet så bra som möjligt och ge en tillräckligt bra överensstämmelse med grunddata för att kunna användas i analyserna. Algoritmerna använda för att skapa kluster är allmänt vedertagna, validerade och påvisats ge gott resultat vid tester av klustermetoder och algoritmer (Ward, 1963; Blashfield, 1976). Fördelarna med att gruppera data i kluster är förutom att minska effekter av överoptimering till följd av för små provytor, även att datamängden minskas och analyser blir snabbare tillika enklare att genomföra. Nackdelar med att tillverka kluster från en datamängd är främst att mönster i data kan gå förlorat, dragningar mot mittenvärden och att data förändras vilket riskerar att äventyra analysernas trovärdighet. För att minska dessa effekter har klusterdata i denna studie validerats mot grunddata, klustermetod har valts omsorgsfullt och antalet kluster har anpassats till en hög likhetsnivå (similarity-level) för att minska variation inom kluster. En styrka i studien är att exakt samma klustersammansättning inom respektive län har använts i både optimeringsanalyser och referensanalyser.

## 5.2 Resultat

Resultaten i tabell 5,7 och 9 tyder på att skog som ger en låg förräntning och låg tillväxt avverkas tidigt och blir ersatt av en ny skogsgeneration vid optimering av skogsbruket. I optimeringen av skogsbruket jämfört med *dagens skogsbruk* verkar skogsskötselåtgärderna bli bättre tidsmässigt anpassade och kan bättre tillvarata skogsmarkens potential till maximal ekonomisk avkastning. Det samlade resultatet visar på att det optimala virkesförrådet är betydligt högre än nuvarande virkesförråd. Potentialen att avverka större volymer och öka virkesförrådet markant visar på att det finns stor förbättringspotential för *dagens skogsbruk* jämfört med optimerande skogsbruk. Areal som sköts med röjning är betydligt mindre för det optimerande skogsbruket, vilket än något förvånande. Röjning har bara utförts där det är ekonomiskt försvarbart, det kan däremot vara rimligt att ifrågasätta denna minskning. Röjning är ett sätt att ge friska välmående träd bättre förutsättningar att överleva och undvika skador i form av exempelvis snöbrott, vindfälle, och angripande insekter. Värt att nämna är att vinsten som fås genom att inte utföra röjningen utgör väldigt små procentandelar av nuvärdet.

Vad som även påverkar resultatet är vilket krav på förräntning som enskilda markägare har. Vid högre diskonteringsränta, 4% istället för 2%, minskar generellt sett skillnaderna mellan det optimerande skogsbruket och *dagens skogsbruk*. Det skulle kunna peka på att markägare använder sig av en högre diskonteringsränta vid beslutsfattandet. Denna studie har däremot betydande begränsningar i simuleringarna av *optimerande skogsbruk* för att kunna dra sådana slutsatser. Främst strikt begränsat förnygringsval med plantering som enda alternativ för optimerande skogsbruk, vilket kan minska nuvärdet vid en högre diskonteringsränta, men även andra faktorer kan påverka så som att förnygringsavverka under lägsta ålder för förnygringsavverkning som scenariot *dagens skogsbruk* tilläts göra. Inställningar från *SKA 15* som använts för att simulera *dagens skogsbruk* innebär att avverkning får ske under LÅF för att avverkningsnivåer ska kunna följas (Claesson et al., 2015). Slutsatser kring enskilda skogsägares kalkylränta kan därav inte med någon högre säkerhet dras från denna studie. Värt att nämna är att *dagens skogsbruk* ökade andelen förnygringar som genomförts med naturlig förnygring när diskonteringsräntan höjdes från 2 till 4%, oklart varför.

Privata skogsägare sköter inte skogen optimalt, sett från ett strikt ekonomiskt perspektiv, vilket även stöds av en finsk studie (Hynynen et al., 2015). Utifrån tidigare studier är det även svårt att få markägare att ändra kulturellt betingade mönster vilket kan spela roll för hur skogar sköts (Beach et al., 2005; Felton et al., 2010). De normativa faktorerna kan leda till att skogsmarken inte sköts på ett ekonomiskt optimalt sätt. Enligt beslutsteori finns även andra faktorer som begränsar hur rationellt ett beslut fattas. Begränsad rationalitet av beslutsfattandet kan påverkas av en mängd faktorer vilka påverkar utfallet av skogsbruket (Simon, 1955). Skogsägare kan dessutom tro att de tar det beslut som ger största möjliga nytta genom att ha ett visst perspektiv (Tversky & Kahneman, 1981). Orsaker till det inoptimala skogsbrukandet kan även vara andra aspekter såsom målsättning och planeringshorisont (Lönnstedt, 1997; Ingemarsson et al.,

2006), dock minskas mest troligt en stor del av variationen som beror av målsättningarna ned av skogsrådgivares råd (Kindstrand et al., 2008).

I likhet med Brännlund et al. (2009) ger analyser beträffande gödsling en positiv inverkan både samhällsekonomiskt och ekonomiskt för enskilda skogsägare. Studien av Brännlund et al. (2009), som beräknar intensivgödslingens effekter, tar hänsyn till och prissätter andra värden så som kolinlagring, rekreation, jakt och fiske samt biologisk mångfald. Denna studie tar inte hänsyn till dessa effekter utan inriktas mot ekonomiska och virkesproduktionsoptimerande aspekter. Gödsling är mest lönsamt när den sker ca 10 år innan slutavverkning enligt Jacobsson & Pettersson (2010). Även gödslingar utförda vid flera tillfällen, innan gallringar och slutavverkning, har i studien givit ett högre nuvärde än alternativet att endast gödsla en gång innan slutavverkning. På grund av studiens begränsade omfattning har inte jämförelser mellan olika gödselintensitet och tillfällen genomförts. Om gödselmängden bedöms vara för hög bör gödsling ske senare närmre slutavverkningstidpunkten.

### 5.3 Skillnader mellan län

Skillnader mellan de olika alternativen optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk* varierar mellan länen. Den största diskrepansen mellan optimerat skogsbruk och *dagens skogsbruk* finns i Västerbottens län och sjunker med breddgrad. Den skillnad som uppvisas mellan länen skulle till del kunna förklaras av de i södra Sverige kortare omloppsperioderna. Korta omloppstider begränsar teoretiskt möjligheterna att optimera skogsbruket fullständigt med de periodvisa beräkningarna på fem-årsintervall som Heureka Planvis ger möjlighet till. Analysverktyget blir något trubbigt när det inte finns möjlighet att anpassa periodlängden efter omloppstider i den strategiska beräkningsvyn. Förutom analysverktygets begränsningar finns minskade möjligheter att gödsla i södra Sverige jämfört med norra Sverige på grund av trädslagsfördelning samt att gödslingarna inte ger lika stor effekt vid bättre boniteter (Näslund et al., 2013; Saarsalmi & Mätkönen, 2001). Skillnaderna som uppstår skulle även kunna hävdas bero på att skogsägare i södra delarna av Sverige är mer aktiva i sin skogsskötsel som kan bero av att skogsägare uppvaktas mer av skogsägarföreningar, kulturella skillnader, att skogsmarken har ett större ekonomiskt värde i södra Sverige eller att kortare omloppstider ger större anledning att engagera sig. Rimligtvis tar däremot alla enskilda skogsägare de beslut som ger största möjliga upplevd nytta för individen (Von Neumann & Morgenstern, 1947; Fishburn, 1979).

### 5.4 Studiens begränsningar

Studien är teoretisk och tar inte hänsyn till en mängd abiotiska och biotiska störningar som kan komma att påverka utfallet av skogsbruket, men de stora dragen ger vissa vägledning. Hänsyn har i dessa analyser endast tagits till virkesvärdet som skogsmarken producerar. Virkesproduktionen kan begränsas av andra intressen, exempelvis av rennärning, vilket i så fall drar ner den möjliga vinsten med optimerande skogsbruk som genereras främst av Contorta och gödsling. Skötsel av hänsynsareal och frivilligt avsatta bestånd har valts bort i beräkningar

för optimering av skogsbruk och *dagens skogsbruk*. Det skulle inte heller tillföra några större förändringar då jämförelserna sker procentuellt, avsättningarna som är genomförda är för båda analysvarianterna lika stora.

Analyserna går ut på att jämföra det nu rådande skogsbruket mot ett optimerande alternativ vilket ställer höga krav på att scenariot som motsvarar *dagens skogsbruk* stämmer relativt väl överens med hur skogen sköts idag. De inställningar som åstadkommits genom *SKA15* arbetet är direkt kopierade för att användas i dessa analyser vilka bygger på exakt samma data som de optimerande analyserna.

Klustringen som genomförts av provytor från riksskogstaxeringens stickprovsinventeringar förändrar indata något, vilket kan leda till att skogsbeståndets egenskaper som analyserna genomförts på inte stämmer överens med grunddatas egenskaper. Variabler som använts för gruppering av kluster har valts genom en avvägning av tidigare litteratur (SOU, 1978), egen kunskap och främst genom att studera resultatet av klustringen. Grupperingen av data till kluster är inte perfekt om man med perfekta kluster åsyftar en minimal variation inom klustren. Det kan i förlängningen bidra till att de resultat som fås genom analyserna kan skilja sig något mot analyser som grundar sig på grundtillståndet av provytedata. De beskrivande variabelerna som använts för att uppnå önskat fördelningsresultat mellan klustren är ett målinriktat experimenterande för att minska variationen inom klustren. Att minska variationen inom kluster är viktigt för att uppnå ett rimligt klusterresultat och i förlängningen goda analysresultat vilket även stöds av SOU (1978). Det finns även mindre felkällor hos riksskogstaxeringens provytor, datamaterialet bedöms däremot som helhet ha en tillräckligt bra kvalitet för att använda som underlag till regionala analyser (SOS, 2018). Osäkerheten i data består främst i att det är ett stickprov av en stor landareal vilket kan ge upphov till slumpmässiga avvikelser. Även mätfel kan bidra till vissa systematiskt fel om samma person gör samma mätfel under alla mätningar och skattningar som utförs (SOS, 2018).

Skogsvårdsförordningen (SFS 1993:1096) ger endast allmänna råd kring hur gödsling bör utföras och vilken mängd kväve som används. Kravet enligt skogsstyrelsens föreskrifter är att skador ska förhindras och/eller begränsas. Det kan verka orimligt att gödsla 450 000 ha skogsmark varje år med hänsyn till de konsekvenser det kan komma att få för näringsläckage (Högbom & Jacobsson, 2002; Ring, 2007). I ett långsiktigt perspektiv är det möjligt att öka till den mängden gödslad areal utan att bryta mot lagstiftning. En minskning av gödselmängden som prioriteras till ytor där de gör mest nytta skulle även det ge fortsatt bra resultat. De analysresultat som optimeringen visar på skulle kunna ses som en omfattande intensivodling av skog på en viss del av skogsmarken i Sverige. Om även kostnaden för att gödsla mindre ytor lades till så skulle mest troligt en mängd ytor falla bort som ekonomiskt olönsamma.

När resultatet av skötseln granskats genom att studera skötselplanerna märks det att gödsling av vissa bestånd har genomförts direkt efter gallring, vilket ur stormkänslighetssynpunkt är en mindre bra åtgärd. Helst ska gödsling genomföras 2–4 år efter gallring för att minska riskerna för stormfällning (Laiho, 1987). Undviker man även att gödsla kantzoner och bergssluttningar

kan risker förknippade med stormar minska ytterligare (Laiho, 1989). Begränsningen med Heureka-systemets 5-årsperioder kan inte lösa de årsvisa kraven, och gödsling kan alltså ske 2 år tidigare än vad som är lämpligt för att inte ta en alltför hög risk för stormfällning. Däremot missar Heureka-systemet även möjligheten att avverka efter rekommenderade 8 år från gödsling (Kukkola & Saramäki, 1983), vilket betyder att två år går förlorade (10 minus 8). Dessa båda effekter skulle kunna ta ut varandra.

Att kostnader och priser hålls konstanta över perioden kan göra att analyserna blir missvisande om jämförelser görs med andra analyser. Studien syftar dock inte till att studera antaganden kring framtida marknadsprognoser. Den enda prognos som har bedömts som relevant under perioden är hur klimatet förändras då det rimligtvis ger effekt på hur den framtida skötseln bör optimeras. Klimatscenariot RPC4.5 innebär att vi snart når kulmen för världens utsläpp vilket är ett relativt optimistiskt scenario (IPCC, 2013).

För Västerbottens län har samma typ av skötselinställningar använts för Heureka RegVis och PlanVis över hela länet på grund av tidsbrist. Antagande har gjorts att den procentuella skillnaden över hela Västerbottens län bör bli oförändrad om samma grundförutsättningar, främst med hänseende på prislista som används för både optimering och *dagens skogsbruk*. Det finns inte något verktyg i Heureka som enkelt tar hänsyn till olika prissättningar beroende av avståndet till industri, vilket för Västerbotten är olika för massaved beroende av distans. En indelning får i så fall genomföras efter regioner, vilket kan bli ett problem vid användning av klusterdata. Samma prislista har använts över hela Västerbotten vilket strider mot den rådande prissituationen där massaved ger mindre betalt ju längre den behöver fraktas. Samma beräkningssätt för Heureka RegVis och PlanVis har använts för hela Västerbotten vilket bör minimera påverkan av massavedspriser när skillnaderna mellan analysvarianterna påvisas.

## 5.5 Fortsatta studier

Det finns få studier som belyser hur stora inoptimalförluster som uppkommer genom att skogen inte brukas optimalt. Beräkningar kring vilka typer av åtgärder som står för de största skillnaderna mellan optimerande skogsbruk och *dagens skogsbruk* hade varit intressanta områden för fortsatta studier. Att veta vilket område som kan behöva mest uppmärksamhet ur lönsamhetsaspekt kan ge viktiga byggstenar för skogsnäringen som helhet.

## 5.6 Slutsatser

Det finns stora möjligheter att öka den ekonomiska avkastningen genom att optimera skogsbruket jämfört med *dagens skogsbruk*. Resultatet går i linje med andra liknande konsekvensanalyser som pekar mot att stora värden kan genereras vid förändrat skogsbruk (Hynynen et al., 2015). Skillnaderna som uppkommer i analysalternativen är däremot olika stora för olika delar av Sverige. Värdena skulle kunna delas upp i de direkta vinsterna som uppkommer genom höjt nuvärde som skogsägare gynnas av och även de mer sekundära samhällsvinster som högre virkesuttag, högre tillväxt samt ett högre virkesförråd bidrar till.

Den genomgående största effekten för höjt nuvärde som analysresultaten pekar mot är att de största vinsterna inte handlar om produktionshöjande åtgärder så som att gödsla, markbereda, plantera och att använda förädlat förnygringsmaterial. Studien visar snarare att det är den tidsmässiga anpassningen av skogsbruksåtgärderna som står för den största effekten på nuvärde, tillväxt, virkesuttag och virkesförråd.

Resultatet som studien kommit fram till kommer aldrig kunna bli verklighet med 330 000 olika markägare, där varje markägare tar individuella beslut. De individuella besluten grundar sig i en mängd faktorer såsom skatteplanering, personliga preferenser och behov. Resultatet skulle dock kunna ligga till grund för arbeten med regionala och nationella policyförändringar (Hynynen et al., 2015).

## Referenser

- Akselsson, C., Westling, O., & Örlander, G. (2004). Regional mapping of nitrogen leaching from clearcuts in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 202(1-3), 235-243.
- Amacher, G. S., Ollikainen, M., & Koskela, E. (2009). *Economics of forest resources*. Cambridge: Mit Press.
- Blashfield, R. K. (1976). Mixture model tests of cluster analysis: Accuracy of four agglomerative hierarchical methods. *Psychological Bulletin*, 83(3), 377–388.
- Brunberg, T. (1995). Underlag för produktionsnorm för stora engreppsskördare i slutavverkning. Redogörelse nr. 7. Skogforsk, Uppsala.
- Brunberg, T. (1997). Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. Redogörelse nr. 8. Skogforsk, Uppsala.
- Brunberg, T. (2004). Underlag till produktionsnormer för skotare. Redogörelse nr. 3, Skogforsk, Uppsala.
- Brännlund, R., Carlén, O., Lundgren, T., & Marklund, P. O. (2009). Samhällsekonomiska konsekvenser av intensivodling, faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport.
- Claesson, S., Duvemo, K., Lundström, A., & Wikberg, P.-E. (2015). Skogliga konsekvensanalyser 2015 - SKA 15. Skogsstyrelsen, SLU. Jönköping: Skogsstyrelsens böcker och broschyrer.
- Ekelund, H., & Hamilton, G. (2001). Skogspolitisk historia. Skogsstyrelsen.
- Enander, K. (2007). *Ekologi, skog och miljö: vetenskap och idéer under 300 år*. Umeå: Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Eriksson, H., Freeman, M., Fries, C., Jönsson A. M., Lundström, A. & Nilsson U. (2015). Effekter av ett förändrat klimat – SKA 15. Skogsstyrelsen. Rapport 12/2015.
- Fahlvik, N., Elfving, B. & Wikström, P. (2014). Evaluation of growth models used in the Swedish forest planning system Heureka. *Silva Fennica*, 48(2).
- Felton, A., Ellingson, L., Andersson, E., Drössler, L., & Blennow, K. (2010). Adapting production forests in southern Sweden to climate change. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2(1), 84–97.
- Fishburn, P. C. (1979). *Utility theory for decision making*. Huntington, N.Y., Krieger.
- Fridman J., Holm S., Nilsson M., Nilsson P., Ringvall A. H. & Ståhl G. (2014). Adapting National Forest Inventories to changing requirements – the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century. *Silva Fennica* vol. 48(3).
- Futter, M. N., Ring, E., Högbom, L., Entenmann, S., & Bishop, K. H. (2010). Consequences of nitrate leaching following stem-only harvesting of Swedish forests are dependent on spatial scale. *Environmental Pollution*, 158(12), 3552–3559.
- Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas, J. & Peltola, H. (2017). Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics*, 80, 80–98.

- Hujala, T., Tikkanen, J., Hänninen, H., & Virkkula, O. (2009). Family forest owners' perception of decision support. *Scandinavian journal of forest research*, 24(5), 448-460.
- Hugosson, M., & Ingemarson, F. (2004). Objectives and motivations of small-scale forest owners; theoretical modelling and qualitative assessment. *Silva Fennica*, 38(2), 217-231.
- Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen, M. & Eerikäinen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*, 134(3), 415-431.
- Högberg, P., Näsholm, T., Franklin, O., & Högberg, M. N. (2017). Tamm Review: On the nature of the nitrogen limitation to plant growth in Fennoscandian boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 403, 161-185.
- Högbom, L., & Jacobson, S. (2002). Kväve 2002: en konsekvensbeskrivning av skogsgödsling in Sverige. SkogForsk.
- Ingemarson, F. (2004). Small-scale forestry in Sweden. Uppsala, Tierps tryckeri AB.
- Ingemarson, F., Lindhagen, A., & Eriksson, L. (2006). A typology of small-scale private forest owners in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21(3), 249-259.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013, The Physical Science Basis*. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel of climate change. Cambridge University Press.
- Jacobson, S. & Pettersson, F. (2010). An assessment of different fertilization regimes in three boreal coniferous stands. *Silva Fennica*, 44(5), 815-827.
- Jain, A. K. & Dubes, R. C. 1988. *Algorithms for Clustering Data*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.
- Kindstrand, C., Norman, J., Boman, M. & Mattsson, L. (2008) Attitudes towards various forest functions: A comparison between private forest owners and forest officers, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23:2, 133-136.
- Kukkola, M., & Saramäki, J. (1983). Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 114. 55 sid.
- Kuuluvainen, J. (1989). Nonindustrial private timber supply and credit rationing: microeconomic foundations with empirical evidence from the Finnish case. *Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå*.
- Laiho, O. (1987). Susceptibility of forest stands to windthrow in southern Finland. *Folia For.* 706: 24 sid.
- Laiho, O. (1989). Gödslingens inverkan på storm- och snöskador. *Skogsgödslingen och miljön*. Centralskogsnämnden Skogskultur.
- Landa, J., & Wang, T. (2001). Bounded Rationality of Economic Man: Decision Making under Ecological, Social, and Institutional Constraints. *Journal of Bioeconomics*, 3(2), 217-235.
- Lönnstedt, L. (1997). Non-industrial private forest owners' decision process: A qualitative study about goals, time perspective, opportunities and alternatives. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12(3), 302-310.



Lönnstedt, L. (1998) Calculating non-industrial private forest owners' cuttings, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13(1-4), 215-223.

Miller, G. A. & Newcomb, T. M. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.

Newman, D., & Wear, D. (1993). Production economics of private forestry: a comparison of industrial and nonindustrial forest owners. *American Journal of Agricultural Economics*, (3), 674–684.

Ní Dhubháin, &., Cobanova, R., Karppinen, H., Mizaraite, D., Ritter, E., Slee, B., & Wall, S. (2007). The Values and Objectives of Private Forest Owners and Their Influence on Forestry Behaviour: The Implications for Entrepreneurship. *Small-scale Forestry*, 6(4), 347–357.

Nikkola, A. (1985). Effect of stand density and fertilization on the branchiness and wood quality of pole stage Scots pine stands. Faculty of forestry, University of Helsinki.

Näslund, B. Å., Stendahl, J., Samuelsson, H., Karlsson, L., Kock-Hansson, G., Svensson, H., & Engvall, C. (2013). Kvävegödsling på skogsmark. Underlag för Skogsstyrelsen Föreskrifter och Allmänna Råd om Kvävegödsling, 48.

PEFC. (2019). Svenska PEFC:s certifieringssystem för uthålligt skogsbruk. Hämtat från [www.pefc.se](http://www.pefc.se).

Ralph L. Keeney, (1982) Feature Article—Decision Analysis: An Overview. *Operations Research* 30(5), 803-838.

Reed, W. J. (1985). Optimal harvesting models in forest management - a survey. University of Victoria.

Ring, E. (2007). Estimation of leaching of nitrogen and phosphorus from forestry in northern Sweden. How to estimate N and P losses from forestry in northern Sweden, 146, 6-13.

Saarsalmi, A. & Mälikönen, E. (2001). Forest fertilization research in Finland: a literature review. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16(6), 514-535.

Samuelson, P. A. (1976). Economics of forestry in an evolving society. *Economic inquiry*, 14(4), 466-492.

SCB. (2019) Statistikdatabasen, SCB. Hämtat från <http://www.statistikdatabasen.scb.se>

SFS. (1993:1096). Skogsvårdsförordningen. Stockholm: Justitiedepartementet.

Simon, H. (1955). A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99-118.

Skogsstyrelsen. (2019). Skogsstyrelsens statistikdatabas. Hämtat från <http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/Skogsstyrelsen%20statistikdatabas>

SLU. (2018). Skogsdata 2018 - aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen. Uppsala: Infra service, SLU.

SMHI. (2019). Klimatscenarier. Hämtat från <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier#sc=rcp45>.

SOS. (2004). Skogsdata 2004. Sveriges officiella statistik/Sveriges lantbruksuniversitet.

- SOS. (2018). Kvalitetsdeklaration, arealförhållanden. Sveriges officiella statistik/Sveriges lantbruksuniversitet.
- SOU. (1978). Skog för framtid - Alternativa skogsproduktionsprogram (Bilaga till: Betänkande av 1973 års skogsutredning). Stockholm: Jordbruksdepartementet.
- Stål, P.-O., Christiansen, L., Wadstein, M., Grönvall, A., & Olsson, P. (2012). Skogsbrukets frivilliga avsättningar. Skogsstyrelsen. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Söderberg, U. (1992). Funktioner för skogsindelning: höjd, formhöjd och barktjocklek för enskilda träd. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogstaxering.
- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1947). Theory of games and economic behavior. Princeton, NJ, US: Princeton University Press.
- Vose, D. (2008). Risk analysis: a quantitative guide. (3. edition) Chichester: Wiley.
- Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. Journal of applied mechanics, 18(3), 293-297.
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L. O., Lämås, T., Sonesson, J. & Klintebäck, F. (2011). The Heureka forestry decision support system; an overview. Mathematical and computational forestry & natural-resource sciences, 3(2) s.87-94.
- Wilhelmsson, E. (1981). Provytedatas tillämpbarhet: En studie av variationen mellan provyta och avdelning samt dess konsekvenser för beräkningar med HUGIN-systemet (Rapport / Projekt Hugin, 24). Umeå.
- Wilhelmsson, E. (2011). Enskilda skogsägarnas målformulering. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet.